

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast



Bericht zum BAST-Forschungsprojekt

Identitätsprüfung regulär applizierter Fahrbahnmarkierungen

F1100.6410015



Dr.-Ing. Jan Ritter

Referat V4 „Straßenausstattung“

Mitwirkung: Referat S4 „Chemische Grundlagen, Umweltschutz, Labordienst

Juli 2018

Kurzfassung

Identitätsprüfung regulär applizierter Fahrbahnmarkierungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollte erstmalig systematisch untersucht werden, inwieweit in der Praxis eine Übereinstimmung zwischen ausgeschriebenen, BASt-geprüften Markierungssystemen und den tatsächlich vor Ort applizierten Markierungssystemen bei regulär ausgeschriebenen Markierungsarbeiten besteht. Im Weiteren sollten Kenntnisse gesammelt werden, inwieweit sich positiv bei der BASt-geprüfte Markierungssysteme unter realer Verkehrsbelastung bewähren.

Hierfür wurden insgesamt 16 Proben von Markierungsmaterialien entnommen, an denen anschließend im Labor chemisch-physikalische Mustergleichheitsprüfungen gemäß den ZTV M durchgeführt wurden. Dabei wurden sowohl der Markierungsstoff als auch die Nachstreumittel untersucht. An mustergleichen Markierungssystemen wurden zudem Messungen der verkehrstechnischen Eigenschaften im Gebrauchszustand durchgeführt.

Auch wenn keine andere als die vertraglich vereinbarte Stoffgruppe appliziert wurde, sind bei acht von 16 Markierungsstoffen bei mindestens einem Merkmal gegenüber dem Urmuster Abweichungen festgestellt worden, die zur Bewertung „nicht mustergleich zum ursprünglich auf der Rundlaufprüfanlage der BASt geprüften Markierungssystem“ geführt haben. Eine direkte Übertragung des hier ermittelten Anteils negativer Mustergleichheitsprüfungen am Markierungsstoff auf die Praxis ist aufgrund des geringen Datenumfangs unzulässig. Die Ergebnisse stehen jedoch in guter Übereinstimmung mit den regulär bei der BASt durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen in den Jahren 2011 bis 2015, bei denen im Mittel ein Anteil negativer Prüfungen von etwa 50 % festgestellt wurde.

Gemäß den ZTV M 13 umfasst die Mustergleichheitsprüfung neben dem Markierungsstoff auch die Nachstreumittel. Die verbindliche Bewertung der Mustergleichheit von Nachstreumitteln bei der BASt befindet sich derzeit in der Vorbereitung. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die vorgesehenen Analysemethoden bereits angewandt. Bei insgesamt 14 von 15 nicht vorgefertigten Markierungssystemen konnten Proben des vor Ort eingesetzten Nachstreumittels untersucht werden. Analog zum Markierungsstoff zeigen die Ergebnisse einen vergleichsweise hohen Anteil an Proben mit vom Urmuster abweichenden Eigenschaften. Von den betrachteten Kenngrößen sticht insbesondere die häufig abweichende Partikelgrößenverteilung der Proben heraus: Wird der Toleranzbereich für die Partikelgrößenverteilung gemäß den TP M als Maßstab für die Mustergleichheit des Nachstreumittels genommen, sind 9 von 14 untersuchten Nachstreumittel-Proben als musterungleich zu bewerten. Die Gesamtheit der Laboruntersuchungen ergab, dass bei *keinem* der im Rahmen des Projektes untersuchten Applikationen sowohl der Markierungsstoff als auch das Nachstreumittel mustergleich waren.

Bei den Messwerten in situ zeigte sich erwartungsgemäß eine ausgeprägte Abhängigkeit der lichttechnischen Eigenschaften von den spezifischen Randbedingungen, wie z. B. der Lage der Markierung im Querschnitt, der Verkehrsbelastung, dem betrachteten Querschnitt, etc. Dies erschwerte den Vergleich mit den auf der Rundlaufprüfanlage der BASt ermittelten Werten. Der Datenumfang ist insgesamt zu gering, um eine aussagekräftige Beantwortung der Fragestellung vornehmen zu kön-

nen. Auf eine nähere Beleuchtung der Auswirkungen von Abweichungen bei der Mustergleichheitsprüfung oder z. B. bei den Produktbezeichnungen auf das Gebrauchsverhalten des Markierungssystems wurde daher verzichtet.

Angesichts der im vorliegenden Projekt ermittelten hohen Anteile musterungleicher Markierungssysteme sollte eine Fortführung der Untersuchungen angestrebt werden. Insbesondere bedürfen die im Rahmen des Projekts gewonnenen Untersuchungsergebnisse zwingend einer Validierung. Dafür ist die für das Projekt gewählte Methodik anzupassen, vorrangig im Hinblick auf die Erreichung einer Ausweitung des Datenumfangs.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen.....	3
2.1	Allgemeines.....	3
2.2	Fahrbahnmarkierungen, Markierungsstoffe und Beistoffe	3
2.3	Funktionsweise von Fahrbahnmarkierungen	5
2.4	Arten von Fahrbahnmarkierungen	5
2.5	Regelwerk und Normung für Markierungen.....	6
2.6	Anforderungen an Markierungen (Auszug)	7
2.7	Eignungsprüfung, Urmusterprüfung und Mustergleichheitsprüfung.....	8
2.8	Prüfmethoden bei der Urmuster- und Mustergleichheitsprüfung.....	10
2.8.1	Prüfung des Markierungsstoffs	10
2.8.2	Prüfung von Nachstreumitteln	11
3	Untersuchungsmethodik.....	13
3.1	Konzept	13
3.2	Auswahl der Markierungsmaßnahmen	13
3.3	Probenahme für die Mustergleichheitsprüfung bei der Applikation	13
3.4	Kontrollprüfungen bei der Applikation	14
3.5	Chemisch-physikalische Laborprüfungen	16
3.5.1	Analyse des Markierungsstoffs.....	16
3.5.2	Analyse der Nachstreumittel	21
3.6	Messung im Gebrauchszustand	25
3.7	Auswertung der bei der BAST durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen	26
4	Darstellung und Auswertung der Ergebnisse.....	27
4.1	Ergebnisse der Kontrollprüfungen bei der Applikation	27
4.1.1	Zusammenfassung und Analyse	42
4.2	Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchung des Markierungsstoffs	43
4.2.1	Nicht vorgefertigte Markierungssysteme.....	43
4.2.2	Vorgefertigte Markierungssysteme (Markierungsfolien).....	45
4.2.3	Zusammenfassung und Analyse	48
4.3	Auswertung der Mustergleichheitsprüfungen bei der BAST (2011-2015)	49
4.4	Ergebnisse der Analyse der Nachstreumittel.....	53
4.4.1	Zusammenfassung und Analyse	57
4.5	Ergebnisse der Messungen in situ	59
4.5.1	Ergebnisse.....	59
4.5.2	Zusammenfassung und Analyse	67
5	Zusammenfassung	68
5.1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	68
5.2	Schlussfolgerungen	68
5.3	Weiterer Forschungsbedarf	71
5.4	Empfehlungen für die Praxis.....	72
5.5	Ausblick	73

6	Literatur.....	74
---	----------------	----

Anhang

Verzeichnis der Abbildungen

Verzeichnis der Tabellen

DANKSAGUNG

Im Rahmen des Projektes wurden Proben von Markierungsarbeiten auf Bundesfernstraßen untersucht. Besonderer Dank gilt den Markierungsfachleuten der Bundesländer für die hierfür geleistete Unterstützung und die Ermöglichung der Probenahme bei den Markierungsmaßnahmen.

Bildnachweis:

Alle Fotos und Abbildungen Bundesanstalt für Straßenwesen oder wie ausgewiesen.

1 Einleitung

Fahrbahnmarkierungen dienen der kontinuierlichen optischen Führung des motorisierten Verkehrsteilnehmers und leisten damit einen unverzichtbaren Beitrag zur Straßenverkehrssicherheit. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Qualität und Dauerhaftigkeit der in Deutschland eingesetzten Fahrbahnmarkierungen führt die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) seit 1957 im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums Eignungsprüfungen an Fahrbahnmarkierungen durch. Eignungsprüfungen werden seit 1989 bei der BASt mit einem Laborverfahren, der sog. „Rundlaufprüfanlage“ durchgeführt. Mit dem europäisch standardisierten Verfahren können reproduzierbare und zeitgeraffte Belastungsprüfungen an Markierungsmaterialien zur Bewertung der Dauerhaftigkeit durchgeführt werden. Neben der Belastungsprüfung ist die chemisch-physikalische Identifizierung der auf der Rundlaufprüfanlage geprüften Markierungsstoffe und Beistoffe Bestandteil der Eignungsprüfung. Das BASt-Prüfzeugnis als Ergebnis der Eignungsprüfung gilt als Nachweis für die Erfüllung der in den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen“ (ZTV M) und den „Technischen Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien“ (TL M) aufgeführten Anforderungen.

Die Eignungsprüfung kann nur zur Qualität der in Deutschland eingesetzten Fahrbahnmarkierungen beitragen, wenn einerseits die **stoffliche Übereinstimmung** zwischen dem auf der Rundlaufprüfanlage geprüften sowie dem applizierten Markierungssystem gegeben ist und andererseits sichergestellt ist, dass die **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Praxis** der für die Eignungsprüfung eingesetzten Laborverfahren gegeben ist, d. h., dass sich ein auf der Rundlaufanlage positiv geprüftes System unter realer Verkehrsbelastung bewährt.

Die **stoffliche Übereinstimmung** kann gemäß den ZTV M durch die Mustergleichheitsprüfung nachgewiesen werden. Bei der Mustergleichheitsprüfung wird auf Grundlage der bei der Eignungsprüfung vorgenommenen chemisch-physikalischen Identifizierung des Markierungsstoffs (s. o.) die stoffliche Übereinstimmung der applizierten mit der eignungsgeprüften Markierung bewertet. Mit Bekanntgabe der ZTV M 13 wurde der Mustergleichheitsprüfung eine höhere Bedeutung beigemessen: Gegenüber der ZTV M 02 wurde der Nettoauftragswert, ab dem eine Mustergleichheitsprüfung verpflichtend durchzuführen ist, von 50.000 € auf 25.000 € herabgesetzt. Zudem beinhalten die ZTV M 13 erstmals Sanktionen für negativ geprüfte Markierungsmaterialien, die von Abzügen von 25 % der Nettoauftragssumme bis zur vollständigen Erneuerung der applizierten Fahrbahnmarkierung reichen. Parallel zur Bekanntgabe der ZTV M 13 ist die Anzahl der bei der BASt beauftragten Mustergleichheitsprüfungen im Zeitraum von 2013 bis 2015 kontinuierlich gestiegen. Wie die Neuerungen im Regelwerk und die gestiegenen Auftragszahlen zeigen, hat sich die Mustergleichheitsprüfung – trotz teilweise kritischer Aspekte hinsichtlich der Anwendung und Umsetzung – offenbar als Instrument zur Gütesicherung etabliert. Auch vor diesem Hintergrund besteht Bedarf an gesicherten Kenntnissen hinsichtlich der Quantifizierung des Anteils mustergleich in Deutschland applizierter Markierungssysteme.

Die **Übertragbarkeit der Ergebnisse** der Eignungsprüfung in die Praxis wurde durch umfangreiche Vergleichsuntersuchungen zwischen Feld- und Laborprüfungen in der Entwicklungs- und Erprobungsphase der Rundlaufprüfanlage sichergestellt. Die in der Europäischen Norm EN 13197 enthaltenen Prüfrandbedingungen für die Eignungsprüfung basieren auf den Ergebnissen dieser Vergleichsuntersuchungen.

Das vorliegende Projekt soll dazu dienen, erste Erkenntnisse zum Abgleich von Eignungsprüfung und Praxis im Hinblick auf die o. g. Aspekte der stofflichen Übereinstimmung und Übertragbarkeit der Ergebnisse zu gewinnen. Dabei stehen insbesondere folgende zwei Fragestellungen im Fokus:

- Inwieweit stimmt die Zusammensetzung der Markierungen in der Praxis mit denen aus der Eignungsprüfung überein?
- Wie verhalten sich die verkehrstechnischen Eigenschaften der Markierungen in der Praxis zu den in der Eignungsprüfung ermittelten Messwerten?

Hierzu werden Proben von Markierungsmaterialien bei der regulären Applikation von Fahrbahnmarkierungen auf Bundesfernstraßen entnommen und einer chemisch-physikalischen Mustergleichheitsprüfung unterzogen. Das Ergebnis der Identifizierung wird mit dem bei der Eignungsprüfung gewonnenen Daten aus der Urmusterprüfung abgeglichen und die stoffliche Übereinstimmung zwischen der applizieren und der bei der BAST geprüften Markierung bewertet. Zusätzlich erfolgt ein Abgleich der im Rahmen des Projekts untersuchten Stichproben und den bei der BAST ermittelten Ergebnissen bei der Mustergleichheitsprüfung. Bei der Entnahme der Proben vor Ort wird zudem die Applikation begleitet und dokumentiert, um u. a. die Bezeichnung der auf der Baustelle eingesetzten Produkte sowie die applikationsbezogene Kennwerte (Schichtdicke, etc.) den Angaben im BAST-Prüfzeugnis gegenüberstellen zu können. Hinsichtlich der zweiten Fragestellung werden Messungen der verkehrstechnischen Eigenschaften an als mustergleich bewerteten Markierungssystemen im Gebrauchszustand vorgenommen und mit den Daten aus der RPA-Prüfung verglichen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Allgemeines

Fahrbahnmarkierungen sind gemäß § 39 (5) der Straßenverkehrsordnung (StVO) Verkehrszeichen. Als eigenständige Vorschrift – und Richtzeichen erteilen sie Ge- oder Verbote, sonstige Markierungen weisen auf vertikale Verkehrszeichen hin. Für den dauerhaften Einsatz sind sie weiß, als vorübergehende Markierungen in Arbeitsstellen sind sie gelb. Ihre primäre Aufgabe besteht in der kontinuierlichen optischen Führung des motorisierten Verkehrsteilnehmers. Als Element der Verkehrsordnung und –regelung dienen sie der Sicherheit und Leichtigkeit des fließenden und ruhenden Verkehrs. Damit leisten sie einen wesentlichen Beitrag zur Sicherheit des Straßenverkehrs. Markierungen sind gemäß den VwV-StVO nach den Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS) auszuführen. Die auf den fließenden Verkehr bezogenen Markierungen sind retroreflektierend auszuführen (VwV-StVO, StVO, RMS).

2.2 Fahrbahnmarkierungen, Markierungsstoffe und Beistoffe

Bei Fahrbahnmarkierungen wird gemäß den TL M 06 in vorgefertigte und nicht vorgefertigte Markierungssysteme unterschieden.

Nicht vorgefertigte Markierungssysteme werden unter Zusammenfügung des Markierungsstoffs und der Beistoffe auf der Fahrbahnoberfläche appliziert. Die Markierungsstoffe werden nach den TL M 06 in folgende Gruppen unterteilt: „lösemittelhaltige Farben“ (High Solid Farben, kurz: HS-Farben), „Dispersionen“, „reaktive Stoffe“ (u. a. Kaltplastiken) und „Thermoplastische Stoffe“ (Thermoplastiken). Reflexkörper und Griffmittel werden als Nachstreumittel bezeichnet und zählen zu den Beistoffen. Sie werden einzeln oder als Nachstreumittel-Gemisch auf die Oberfläche des applizierten Markierungsstoffs gestreut.

Generell bestehen Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme aus folgenden Komponenten (KILLING et al. 2003):

- Bindemittel: Polymer oder Monomer, Oligomer
- Pigmente: hauptsächlich Titandioxid
- Füllstoffe: häufig Dolomit, Calciumcarbonat, Siliciumdioxid, Bariumsulfat
- Lösemittel oder Wasser (nicht bei Kaltplastiken)
- Hilfsstoffe: Dispergierhilfsstoffe, Weichmacher, usw.

HS-Farben bestehen aus Bindemitteln, Pigmenten, Lösemitteln, Füllstoffen und Additiven. Bei einkomponentigen Farben erfolgt die Aushärtung durch physikalische Verdunstung des Lösemittels, bei mehrkomponentigen lösemittelarmen Farben erfolgt neben der Verdunstung eine chemische Reaktion.

Zu den **Dispersionen** zählen Dispersionsfarben und HS-Dispersionen, die einen höheren Feststoffanteil aufweisen. Sie bestehen aus in einer Flüssigkeit dispergierten Polymerteilchen und härten durch Aufhebung der Stabilisierung der dispergierten Teilchen sowie physikalische Trocknung aus.

Kaltplastiken bestehen mindestens aus zwei Komponenten und härten durch chemische Reaktion aus.

Thermoplastiken enthalten thermoplastische Bindemittel (z. B. Kohlenwasserstoff-, Maleinat- und Esterharze) und sind lösemittelfrei. Sie härten nach Abkühlung des bei einer Temperatur von ca. 150 bis 230 °C applizierten Markierungsstoffs aus. Reflexkörper und Griffigkeitsmittel sind i. d. R. bereits in der Thermoplastik enthalten und werden im Laufe der Nutzungsdauer durch Verschleiß des Markierungssystems freigegeben („Premixkörper“).

Zu den Nachstreumitteln zählen die Reflexkörper und Griffigkeitsmittel.

Reflexkörper sind i. d. R. unbehandelte oder behandelte runde Gasperlen mit einem Durchmesser von ca. 0,05 mm bis 2,0 mm (KROTMANN et al. 2001). Die Reflexkörper dienen zur Herstellung der Nachtsichtbarkeit der Markierung. Reflexkörper werden als Gemische aus Reflexkörpern unterschiedlicher Durchmesser eingesetzt. Die Größenverteilung variiert in Abhängigkeit des Einsatzzwecks (z. B. Typ I oder II). Reflexkörper werden bei der Applikation in die noch weiche Markierungsoberfläche eingestreut oder sind bereits im Markierungsstoff insbesondere bei Thermoplastiken als sog. Premixkörper enthalten (KILLING et al. 2003). Sie können u. a. anhand Kriterien wie Rundheit, Transparenz, Brechungsindex, mechanische Beständigkeit, Anteil an Fehlbildungen und Fremdeinschlüssen charakterisiert werden. Reflexkörper können eine Beschichtung aufweisen, die z. B. die Haftung der Reflexkörper mit dem Markierungsstoff verbessert. Da die Wirkung der Beschichtung vom jeweilig applizierten Markierungsstoff abhängt, wird die Beschichtung auf den Markierungsstoff abgestimmt.

Griffigkeitsmittel werden aus abriebbeständigen Stoffen mit kantig, rauer Oberfläche wie z. B. Keramik, Korund, Cristobalit („Minigrain“) oder auch Glasbruch hergestellt (KILLING et al. 2003). Sie werden bei der Applikation nachgestreut oder sind als Premixkörper im Markierungsstoff enthalten, um der Oberfläche des Markierungssystems eine ausreichende Griffigkeit zu verleihen.

Nachstreumittel werden in Deutschland i. d. R. als Reflexkörper oder als Gemisch aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln appliziert.

Zu den **vorgefertigten Markierungssystemen** zählen Markierungsfolien, die vollständig werkseitig als Rollenware hergestellt werden, oder vorgefertigte Thermoplastiken. Markierungsfolien werden vollständig werkseitig hergestellt und bedürfen bei der Applikation keiner weiteren Aufbringung von Nachstreumitteln. Sie werden i. d. R. durch Andrücken mit der Fahrbahnoberfläche verbunden.

Bei den vorgefertigten Thermoplastiken, die als Stapelware im Werk produziert werden, wird zwischen Markierungssystemen, die bereits Reflexkörper und Griffigkeitsmittel enthalten sowie Systemen, die bei der Applikation noch nachgestreut werden müssen, unterschieden.

Weitere Beistoffe sind Voranstrichmittel (Primer) und Verdünnungsmittel.

2.3 Funktionsweise von Fahrbahnmarkierungen

Zur Wahrnehmung ihrer Funktion als visuelles Element zur Führung des Verkehrsteilnehmers bedürfen Fahrbahnmarkierungen einer entsprechenden Erkennbarkeit bei Tag und Nacht möglichst bei allen Witterungsbedingungen sowie Sichtverhältnissen.

Die Sichtbarkeit der Fahrbahnmarkierung bei Nacht wird durch die Einbringung von Reflexkörpern in die Markierungsoberfläche erreicht. Durch die zu etwa 60 % in den Markierungsstoff eingebetteten runden Glasperlen reflektieren Fahrbahnmarkierungen das einfallende Scheinwerferlicht weitgehend zum Fahrer zurück und sind so bei Dunkelheit erkennbar. Diese Art der Reflexion wird Retroreflexion genannt. Gemäß DIN 67520-1 ist Retroreflexion eine Reflexion, bei der das einfallende Licht weitgehend unabhängig von der Anleuchtungsrichtung in Richtungen zurückgestrahlt wird, die der Anleuchtungsrichtung naheliegen. Bei einer Markierung wird das Licht beim Auftreffen auf die Oberfläche des Reflexkörpers gebrochen und erreicht die Rückseite des Reflexkörpers. Dort trifft es auf den Markierungsstoff, an dem es diffus reflektiert wird. Ein Teil der Lichtstrahlen werden „retroreflektiert“, d. h. in Richtung des einfallenden Lichtstrahls zurückgeworfen und werden so vom Fahrer wahrgenommen (KILLING et al. 2005, SCHÖNBORN et al. 1981).

Das Retroreflexionsvermögen einer Fahrbahnmarkierung bei Nacht wird mit Hilfe des Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L (Einheit: $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) quantifiziert. Die Messung erfolgt gemäß EN 1436 mit einem Beobachtungswinkel von $2,29^\circ$ und einem Beleuchtungswinkel von $1,24^\circ$, was einer Augenhöhe des Fahrers von 1,2 m über der Straßenoberfläche, einer Höhe des Fahrzeugscheinwerfers von 0,65 m und einer Sichtentfernung von 30 m entspricht. Dabei wird zwischen dem Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion bei trockener Markierungsoberfläche und dem Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L bei Feuchtigkeit unterschieden (EN 1436).

Die Tagessichtbarkeit ist gemäß den ZTV M 13 durch den Leuchtdichtekoeffizienten bei diffuser Beleuchtung Q_D sowie die Normfarbwertanteile x , y definiert.

Der Leuchtdichtekoeffizient bei diffuser Beleuchtung Q_D wird gemäß EN 1436 mit der oben beschriebenen 30 m-Geometrie gemessen, wobei jedoch eine diffuse Beleuchtung die Anleuchtung durch einen Kfz-Scheinwerfer ersetzt, um die Lichtverhältnisse bei Tage abzubilden. Anhand der Normfarbwertanteile x , y wird eine Aussage zur Farbe der Markierung getroffen. Sie werden nach Anhang C der EN 1436 ermittelt.

2.4 Arten von Fahrbahnmarkierungen

Fahrbahnmarkierungen können vollflächig mit einer ebenen oder profilierten Oberfläche ausgeführt werden (Vollstrich-Markierung) oder als nicht vollflächige, aus Einzelteilen bestehende Systeme (Agglomeratmarkierungen).

Weiterhin wird zwischen herkömmlichen Fahrbahnmarkierungen und solchen unterschieden, die über eine erhöhte Nachtsichtbarkeit bei Nässe verfügen. Diese sog. Typ II-Markierungen weisen gegenüber Typ I-Markierungen besonders ausgeprägte Retroreflexionseigenschaften bei Nacht und Nässe auf (ZTV M 13). Typ II-Markierungen können z. B. als grobstrukturierte Agglomeratmarkierun-

gen oder Vollstrichmarkierung mit nachgestreuten Reflexkörpern mit großem Durchmesser ausgeführt werden.

2.5 Regelwerk und Normung für Markierungen

Hinsichtlich der im vorliegenden Projekt behandelten Fragestellungen sind neben der Straßenverkehrsordnung (StVO), der Verwaltungsvorschrift zur StVO (VwV-StVO) und den Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS) insbesondere die folgenden nationalen Regelwerke zu nennen:

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen“ (**ZTV M 13**) werden Bauverträgen für Markierungsarbeiten u. a. auf Bundesfernstraßen zugrundegelegt. Die ZTV M 13 enthalten Mindestanforderungen an die verkehrstechnischen Eigenschaften von dauerhaft und vorübergehend eingesetzten Markierungen. Weiterhin werden Vorgaben an die Auswahl, Ausführung und Prüfung von Markierungen festgelegt. Die ZTV M 13 behandeln die Eignungsprüfung und Urmusterprüfung in den Abschnitten 6.1 und 7.1.1; die Mustergleichheitsprüfung ist Gegenstand von Abschnitt 7.1.3.3.

Die Technischen Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien (**TL M 06**) beinhalten Anforderungen an die Lieferung von Markierungsmaterialien. Neben der Festlegung einer Klassifizierung der unterschiedlichen Markierungsstoffe enthalten sie u. a. Anforderungen an die Beschaffenheit des Markierungsstoffs. Die TL M 06 enthalten zudem Anforderungen an die Kennzeichnung von Markierungsmaterialien und deren Verpackungen bzw. Gebinde.

Die technischen Prüfbedingungen für Markierungssysteme (**TP M¹**) enthalten die Anforderungen an die Eignungsprüfungen von dauerhaften (weißen) und vorübergehenden (gelben) Markierungen, die aus Markierungssystemen hergestellt werden. In den TP M sind u. a. die chemisch-physikalischen Verfahren für die Urmusterprüfung beschrieben.

Die o. g. nationalen Regelwerke beziehen sich in ihren Anforderungen auf die europäischen Normen für Straßenmarkierungen. Nach den ZTV M 13 sind die Eignungsprüfungen gemäß den TP M in Verbindung mit den folgenden europäischen Normen durchzuführen:

- DIN EN 1423:2013-03 „Straßenmarkierungsmaterialien - Nachstreumittel - Markierungs-Glasperlen, Griffigkeitsmittel und Nachstreugemische“
- DIN EN 1424:2003-08 „Straßenmarkierungsmaterialien - Premixglasperlen“
- DIN EN 1436:2009-01 „Straßenmarkierungsmaterialien - Anforderungen an Markierungen auf Straßen“
- DIN EN 1790:2013-12 „Straßenmarkierungsmaterialien - Vorgefertigte Markierungen“
- DIN EN 1871 „Straßenmarkierungsmaterialien - Markierungsfarben, Kaltplastikmassen und Heißplastikmassen - Physikalische Eigenschaften (Entwurf: DIN EN 1871:2008-09, DIN EN 1871:2000-03)

¹ Die TP M liegen zurzeit als Entwurf vor. Im vorliegenden Projekt wird auf den Entwurf der TP M, Stand Juni 2017, Bezug genommen.

- DIN EN 12802:2011-12 „Straßenmarkierungsmaterialien - Laborverfahren für die Identifizierung von Straßenmarkierungsmaterialien“
- DIN EN 13197:2014-07 „Straßenmarkierungsmaterialien - Verschleißsimulator“

In der DIN EN 1790 sind die chemisch-physikalischen Prüfverfahren für die Identifizierung von Markierungsfolien enthalten. Für Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme sind entsprechende Verfahren in der DIN EN 12802 und DIN EN 1871 aufgeführt. Die Analyse von Nachstreumitteln und Premix-Reflexkörpern fußt auf DIN EN 1423 und DIN EN 1424.

Die CE-Kennzeichnungspflicht besteht für die Nachstreumittel auf Grundlage von DIN EN 1423. Weder vorgefertigte noch nicht-vorgefertigte Markierungsstoffe sind bisher CE-kennzeichnungspflichtig.

2.6 Anforderungen an Markierungen (Auszug)

In den ZTV M 13 sind u. a. Anforderungen an die sog. verkehrstechnischen Eigenschaften im Neu- und Gebrauchszustand festgelegt. Hierzu zählen Anforderungen an die folgenden Merkmale:

- Geometrie und Toleranzen
- Tagessichtbarkeit (Leuchtdichtekoeffizient Q_D und Farbort (x, y))
- Nachtsichtbarkeit (Leuchtdichtekoeffizient bei Retroreflexion R_L im trockenen Zustand und im feuchten Zustand bei Typ II-Markierungen)
- Griffigkeit (SRT-Wert)
- Verschleißfestigkeit (prozentuale Restfläche)
- Überrollbarkeit (Trocknungszeit)
- Regenfestigkeit
- Rissbildung
- Schichtdicken

Die Erfüllung der Anforderungen der ZTV M 13 ist nach Abschnitt 4.1 durch ein Prüfzeugnis der BAST nachzuweisen.

Die Anforderungen an die Mustergleichheit gemäß ZTV M 13 sind in Abschnitt 2.7 näher beschrieben.

In den TL M 06 sind u. a. bestimmte Grenzwerte für umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe festgelegt. Die TL M 06 besagen ferner, dass Reflexkörper und Griffigkeitsmittel die Anforderungen der EN 1423 und EN 1424 erfüllen müssen.

Es dürfen nur Markierungsstoffe und Nachstreumittel eingesetzt werden, deren Kennzeichnung exakt mit den Angaben im maßgeblichen BAST-Prüfzeugnis, z. B. unter den Punkten „Stoffbezeichnung“ bzw. „Reflexkörperbezeichnung“, übereinstimmen. So gilt gemäß Abschnitt 7.1.3.1 der ZTV M 13, dass die Kontrollprüfungen durch den Auftraggeber auch die Prüfung auf Übereinstimmung der angelieferten Markierungsstoffe und deren Beistoffe mit den Angaben in den maßgeblichen Prüfzeugnissen der BAST umfassen. Gemäß TL M 06, Abschnitt 5 „Lieferung“, sind alle Markierungsmaterialien bzw. ihre Gebinde mit der Produktbezeichnung gemäß BAST-Prüfzeugnis zu kennzeichnen.

2.7 Eignungsprüfung, Urmusterprüfung und Mustergleichheitsprüfung

Neben Eigenüberwachung- und der Kontrollprüfung sowie Anforderungen an die Qualifikation von Unternehmen, Geräten und Prüfstellen stellt die Eignungsprüfung ein zentrales Element der Qualitätssicherung von Fahrbahnmarkierungen dar. Eignungsprüfungen werden seit 1957 im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums bei der BAST durchgeführt.



Abbildung 2-1: Rundlaufprüfanlage der BAST

Die **Eignungsprüfung** besteht aus einer Prüfung der Dauerhaftigkeit des Markierungssystems und einer nachgelagerten chemisch-physikalischen Analyse des Markierungsstoffs und der Beistoffe. Vereinfacht dargestellt wird im Auftrag des Antragstellers ein Muster des zu prüfenden Markierungssystems bei der BAST auf Prüfkörpern appliziert und auf Grundlage nationaler Regelwerke und europäischer Normen (z. B. EN 1436, EN 13197) die Leistung des Markierungssystems in Bezug auf die verkehrstechnischen Eigenschaften gemäß ZTV M im Neu- und im Gebrauchszustand bestimmt. Bei der hierfür eingesetzten und europäisch genormten „Rundlaufprüfanlage“ (RPA) handelt es sich um einen Großversuchsstand, mit dem im Labor unter konstanten, kontrollierten Randbedingungen das Markierungssystem einer simulierten, zeitgerafften Verkehrsbelastung unterzogen werden kann (s. Abb. 2-1). Dabei wird die Belastung nach bestimmten Intervallen unterbrochen und die verkehrstechnischen Eigenschaften des zu prüfenden Markierungssystems messtechnisch erfasst.

Erfüllt das Markierungssystem die Mindestanforderungen der ZTV M, wird nach positiver Urmusterprüfung (s. u.) ein BAST-Prüfzeugnis ausgestellt. Abschließend wird das Zeugnis in der Freigabeliste der BAST veröffentlicht. Jedes positiv bei der BAST geprüfte Markierungssystem kann also eindeutig anhand der im BAST-Prüfzeugnis aufgeführten BAST-Prüfnummer identifiziert werden.

Bei der Applikation des Markierungssystems in der BAST werden Proben von allen Komponenten des Markierungsstoffs sowie der Beistoffe genommen, die zur Durchführung der **Urmusterprüfung** verwendet werden. Dies ist notwendig, da Fahrbahnmarkierungen nicht wie bei anderen Produkten anhand visueller Merkmale oder bestimmter Maße und Abmessungen identifiziert werden können. Die Urmusterprüfung ermöglicht eine eindeutige Identifizierung von Markierungssystemen und kann als chemisch-physikalischer „Fingerabdruck“ des Materials verstanden werden. Zudem wird bei der Urmusterprüfung das Vorhandensein von gesundheits- und umweltgefährdenden Stoffen im Markierungssystem untersucht.

Die Urmusterprüfung stellt die Grundlage für eine spätere Überprüfung durch den Auftraggeber dar, ob das auf der Straße applizierte Markierungssystem in seiner stofflichen Zusammensetzung und den stofflichen Eigenschaften dem vertraglich vereinbarten System und letztendlich dem bei der Eignungsprüfung geprüften System entspricht.

Diese Überprüfung wird als **Mustergleichheitsprüfung** bezeichnet. Sie umfasst gemäß den ZTV M 13 sowohl den Markierungsstoff als auch die Beistoffe, wobei sich die Bestimmung der Korngrößenverteilung des Nachstreumittels und des Anteils an Griffigkeitsmitteln derzeit in der Vorbereitung befindet (Stand: 01.03.2018). Die Grundlage für die Mustergleichheitsprüfung des Markierungsstoffs stellen gemäß den ZTV M 13 die DIN EN 1790, DIN EN 1871 und DIN EN 12802 dar.

Gemäß Abschnitt 6.1 der ZTV M 13 muss die Materialzusammensetzung der eingesetzten Markierungssysteme der bei der Urmusterprüfung festgestellten Zusammensetzung entsprechen. Dabei können Markierungssysteme als „mustergleich“ gewertet werden, wenn die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Prüfung innerhalb der zugehörigen Toleranzen nach DIN EN 12802 liegen. Bei Überschreitung der Toleranzen von einem oder mehreren Merkmalen gilt das untersuchte Markierungssystem als musterungleich.

Die Bedeutung der Mustergleichheitsprüfung für den nationalen Qualitätssicherungsmechanismus ergibt sich daraus, dass nur mit ihr im Anschluss an die Eignungsprüfung bei der BASt Änderungen bei der Zusammensetzung oder den Inhaltsstoffen aufgedeckt werden können. So ist die Aufrechterhaltung der Gültigkeit der BASt-Prüfzeugnisse nicht z. B. an nachgelagerte oder regelmäßige Kontrollen der stofflichen Zusammensetzung durch Entnahmen von Proben im Werk geknüpft. Die Wirksamkeit des Qualitätssicherungssystems hängt folglich insbesondere davon ab, ob 1.) Mustergleichheitsprüfungen bei einem ausreichenden Anteil aller Applikationen durchgeführt werden und ob 2.) negative Mustergleichheitsprüfungen sanktioniert werden. Zum ersten Punkt besagen die ZTV M 13, dass die Entscheidung über die Beauftragung einer Mustergleichheitsprüfung gemäß den ZTV M 13 bei einem Nettoauftragswert der Markierungsarbeiten von bis zu 25.000 € beim Auftraggeber liegt. Ab einem Nettoauftragswert der Markierungsarbeiten von mehr als 25.000 € sind nach den ZTV M 13 Mustergleichheitsprüfungen verpflichtend durchzuführen.

Bezüglich des zweiten Punktes sehen die ZTV M 13 Sanktionen für die Applikation musterungleicher Markierungssysteme vor. Diese reichen in Abhängigkeit der Schwere der festgestellten Abweichung und der Erreichung der Anforderungen der ZTV M 13 an die Markierung im Neuzustand von der Möglichkeit zur Vereinbarung von Abzügen bis zur vollständigen Erneuerung der Fahrbahnmarkierung (s. Tab. 2-1).

Tabelle 2-1: Sanktionierung bei Musterungleichheit des applizierten Markierungssystems gemäß ZTV M 13

Fall	signifikant vom Urmuster abweichende Zusammensetzung (negative Mustergleichheitsprüfung)?	übereinstimmende Stoffgruppe?	Anforderungen gemäß Abschnitt 4 der ZTV M 13 für den Neuzustand erfüllt?	Sanktion
a)	ja	ja	ja	der Auftraggeber <i>kann</i> Abzüge für die vom untersuchten Markierungsstoff betroffene Markierung (bezogen auf die Charge) um 25 % vereinbaren
b)	ja	ja	nein	Erneuerung der Markierung durch den Auftragnehmer in jedem Fall
c)	ja	nein	ja oder nein	Erneuerung der Markierung durch den Auftragnehmer in jedem Fall

Bei musterungleichen Proben ist von Sanktionen abzusehen, wenn das negative Ergebnis der Mustergleichheitsprüfung mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine nicht sachgerechte Probeentnahme zurückzuführen ist (s. ZTV M 13, 5. Absatz in Abs. 7.1.3.3). Die in der Tabelle 2-1 beschriebene Regelung gilt nach Abschnitt 7.1.3.3 der ZTV M 13 analog für vom Urmuster abweichende Nachstreumittel.

Die Eignungsprüfung wird federführend bei der BAST vom Referat V4 „Straßenausstattung“ durchgeführt. Die Durchführung der Urmusterprüfung als Teil der Eignungsprüfung erfolgt im Referat S4 „Chemische Grundlagen, Umweltschutz, Labordienst“. Mustergleichheitsprüfungen werden derzeit durch das Referat S4 der BAST oder von der TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH als von der BAST für die Mustergleichheitsprüfung anerkannte Stelle durchgeführt.

2.8 Prüfmethoden bei der Urmuster- und Mustergleichheitsprüfung

2.8.1 Prüfung des Markierungsstoffs

Gemäß den ZTV M 13 stellen die TP M in Verbindung mit den EN 12802, EN 1790, prEN 1871 die Grundlagen für die Urmusterprüfung dar.

Bei der Urmusterprüfung werden gemäß was?? u. a. folgende Merkmale des Markierungsmaterials analysiert (Nennung der Prüfvorschrift in Klammern):

- Dichte (gemäß DIN EN 12802 Verfahren nach ISO 2811-1)
- Art und Anteil des Bindemittels (DIN EN 12802)
- Art und Anteil des Lösemittels (DIN EN 12802)
- Titandioxidgehalt (DIN EN 12802)
- Anteile der Premixkörper (DIN EN 12802)
- Veraschungsrückstand (DIN EN 12802)
- Art der Pigmente und Füllstoffe (DIN EN 12802)
- Analyse der Klebeschicht (EN 1790)
- Thermogramm (EN 1790)
- Bildanalyse (TP M)
- Erweichungspunkt nach Wilhelmi (DIN EN 1871)

Dabei richtet sich die Auswahl der zu betrachtenden Merkmale bzw. der Methoden nach dem zu untersuchenden Markierungsmaterial. Eine nähere Beschreibung der Prüfmethode und der bei der Urmusterprüfung in Deutschland angewandten Modifikationen findet sich in Abschnitt 3.5.1.

2.8.2 Prüfung von Nachstreumitteln

Für die CE-Kennzeichnung von Nachstreumitteln ist nach EN 1423 die Partikelgrößenverteilung² durch die Mindest- und Höchstgewichtsanteile der kumulierten Siebrückstände anzugeben. Für die Auswahl der Prüfsiebe sind hierbei die in der ISO 565:1990 unter der sog. Nebenreihe „R 40/3“ enthaltenen Nennöffnungsweiten maßgebend. Die Partikelgrößenverteilung ist gemäß dem in ISO 2591-1 definierten manuellen Siebverfahren durchzuführen. Die EN 1423 enthält weiterhin Anforderungen an die Beschreibung der Partikelgrößenverteilung:

- Das obere Sicherheitssieb muss 0 % bis 2 % des Gesamtgewichts der Elemente zurückhalten.
- Das obere Nennsieb muss 0 % bis 10 % der Elemente zurückhalten.
- Das Verhältnis zwischen den Nenngrößen zweier aufeinanderfolgender Siebe ist auf ein Maximum von 1,7:1 zu begrenzen.
- Für jedes der Zwischensiebe darf die prozentuale Gewichtsspanne zwischen dem Mindestwert N1 (in %) und dem Höchstwert N2 (in %) der kumulativ zurückgehaltenen Anteile nicht größer als 40 % sein ($N2 - N1 \leq 40 \%$).
- Das untere Nennsieb muss 95 % bis 100 % der Markierungs-Glasperlen zurückhalten.

Bei Nachstreumittelgemischen sind die Partikelgrößenverteilungen nach EN 1423 separat für die Reflexkörper und Griffigkeitsmittel zu bestimmen und anzugeben.

Hinsichtlich der Urmusterprüfung wird die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung mittels videobasierter Verfahren vorbereitet (Stand: 01.03.2018). In (RECKNAGEL et al. 2014) wurde nachgewiesen, dass die **Partikelgrößenanalyse von Gemischen aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln** mit Hilfe eines videobasierten Verfahrens durchgeführt werden kann. Dabei handelt es sich um ein dynamisch digital-fotooptisches Verfahren. Das Funktionsprinzip besteht darin, dass das zu untersuchende Gemisch aus einzelnen Reflexkörpern und/oder Griffigkeitsmitteln eine definierte Fallstrecke herunterrieselt, wobei die Partikel von zwei hochauflösenden Digitalkameras vermessen werden (RECKNAGEL et al. 2014). Aufgrund der ausreichend großen Datenmenge kann mit Hilfe einer softwaregestützten statistischen Auswertung aus der zweidimensionalen Erfassung auf die dreidimensionale Beschaffenheit der Partikel geschlossen werden. Die Auswertung liefert Ergebnisse zur Partikelgrößenverteilung des Gemisches sowie zur Verteilung der Partikelformen. Eine zusätzliche wesentliche Funktion ist zudem die Bewertung der Transparenz der Partikel. Dies bietet gegenüber den konventionellen Methoden den wesentlichen Vorteil, dass anhand der Bestimmung der Transparenz der Partikel eine separate Auswertung der Partikelgrößenverteilungen von (transparenten) Reflexkörpern und (intransparenten) Griffigkeitsmitteln bei der Analyse von Gemischen aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln vorgenommen werden kann (RECKNAGEL et al. 2014).

² In der EN 1423 wird der Begriff „Korngrößenverteilung“ für „Partikelgrößenverteilung“ verwendet.

Da in Deutschland Reflexkörper und Griffigkeitsmittel i. d. R. nicht getrennt appliziert sondern als Gemische gehandelt und appliziert werden, ist die konventionelle Siebung nach EN 1423 in diesem Fall auf die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung des Gemisches beider Komponenten beschränkt, wogegen mit dem oben beschriebenen Verfahren eine visuell-digitale Bewertung beider Komponenten möglich ist.

In (RECKNAGEL et al. 2014) konnte eine ausreichende Übereinstimmung der Ergebnisse der konventionellen Siebung nach EN 1423 und der videobasierten Analyse festgestellt werden. Zudem ist das videobasierte Verfahren laut (RECKNAGEL et al. 2014) im Fall von intransparenten Griffigkeitsmittel zur separaten Bestimmung der Partikelgrößenverteilung der Griffigkeitsmittel und Reflexkörpern bei Nachstreumittelgemischen geeignet. Bei Nachstreumittelgemischen mit transparenten Griffigkeitsmitteln wie z. B. Korund oder Glasbruch könne derzeit keine separate Analyse vorgenommen werden.

Der **Anteil der Griffigkeitsmittel** in Nachstreumittelgemischen aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln kann im Fall von intransparenten Griffigkeitsmitteln ebenfalls mit dem videobasierten Partikelanalyseverfahren ermittelt werden (RECKNAGEL et al. 2014). Den von den Kameras erfassten Partikeln werden vom Analysesystem bestimmte Kennwerte zugeordnet, wie z. B. die Fläche oder die Transparenz. Da Reflexkörper aus Glas lichtdurchlässig sind, während die Griffigkeitsmittel Keramik und Cristobalit („Minigrain“) intransparent sind, kann in diesem Fall eine Unterscheidung anhand der ermittelten Transparenz vorgenommen werden. Auf diese Weise ist es möglich, den volumenbezogenen Anteil an Partikeln einer Probe, die oberhalb oder unterhalb eines bestimmten Kennwertes (Schwellenwertes) liegt, zu berechnen. Bei transparenten Griffigkeitsmitteln wie Korund ist dies nicht möglich.

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Konzept

Der Schwerpunkt des vorliegenden Projektes besteht in der Gewinnung von Kenntnissen zur Übereinstimmung von regulär auf Bundesfernstraßen applizierten Fahrbahnmarkierungen mit den von der Straßenbauverwaltung unter Vereinbarung der ZTV M ausgeschriebenen Markierungssystemen. Hierfür werden auf Grundlage definierter Kriterien Markierungsmaßnahmen ausgewählt (s. Abschnitt 3.2) und Materialproben entnommen (s. Abschnitt 3.3).

Da das Gebrauchsverhalten des Markierungssystems sowohl von der Beschaffenheit des Markierungsstoffs und der Nachstreumittel als auch von der Beschaffenheit und Ausführung des Markierungssystems abhängt, wird zudem die Applikation kontrolliert und dokumentiert (s. Abschnitt 3.4).

Die vor Ort entnommenen Proben des Markierungsstoffs (s. Abschnitt 3.5.1) und der Nachstreumittel werden einer Mustergleichheitsprüfung (s. Abschnitt 3.5.2) unterzogen.

Das vorliegende Projekt nimmt sich als zweites Ziel der Fragestellung an, inwieweit sich vertragskonform auf Basis einer positiven Eignungsprüfung applizierte Markierungssysteme in der Praxis bewähren. Dazu werden bei mustergleichen Systemen Messungen im Gebrauchszustand vorgenommen und mit den Daten aus der RPA-Prüfung verglichen (s. Abschnitt 3.6).

Ergänzend erfolgt ein Abgleich der im Rahmen des Projekts untersuchten Stichproben und den bei der BASt ermittelten Ergebnissen bei der Mustergleichheitsprüfung (s. Abschnitt 3.7)

3.2 Auswahl der Markierungsmaßnahmen

Auf Grundlage der u. g. Kriterien wurden die Markierungsfachleute der Bundesländer um Mitteilung von geplanten Markierungsarbeiten gebeten. Aus dem Rücklauf wurden geeignete Maßnahmen anhand der folgenden Kriterien ausgewählt:

- Regulär durch die Straßenbauverwaltung auf Basis der jeweils geltenden ZTV M ausgeschriebene Markierungsarbeiten.
- Markierungsmaßnahmen auf Bundesfernstraßen, d. h. Bundesstraßen und Bundesautobahnen.
- Berücksichtigung aller Markierungsstoffarten- und typen gemäß TL M 06: Vorgefertigte und nicht vorgefertigte Markierungen, Markierungen für den dauerhaften (weiß) und temporären (gelb) Einsatz. Ausführung als Vollstrich oder strukturierte Markierung; etc.

3.3 Probenahme für die Mustergleichheitsprüfung bei der Applikation

Die Probenahme erfolgte nach den Vorgaben der ZTV M. HS-Farben wurden abweichend von den ZTV M in beiden Fällen direkt aus dem Vorratsbehälter der Markiermaschine entnommen. Bei reaktiven Stoffen erfolgte die Probenahme der einzelnen Komponenten aus dem Materialvorratsbehälter der Markiermaschine. Thermoplastische Stoffe wurden aus dem Thermokocher der Markiermaschine entnommen. Bei vorgefertigten Markierungsfolien wurde eine Probe von der Rolle abgeschnitten.



Abbildung 3-1: Entnahme eines reaktiven Markierungsstoffs aus dem Vorratsbehälter der Markiermaschine (links) und Herstellung eines Prüfblechs (rechts)

Nachstreumittel wurden sowohl aus dem Vorratsbehälter der Markiermaschine als auch unmittelbar aus dem Schlauch vor der Nachstreumittleinheit entnommen.

Die Entnahme der Proben aus der Markiermaschine erfolgte i. d. R. durch den Applikateur in Anwesenheit des Prüfers (s. Abb. 3-1).

Als Transportbehälter dienten Blechdosen oder Schalen aus Aluminium (Thermoplastiken).

Im Vorfeld der Probenahme wurde der Auftraggeber der Markierungsarbeiten befragt, welches Markierungssystem (BAST-Prüfzeugnis) für die Markierungsarbeiten vom Applikateur angeboten wurde. Vor Ort wurde zur Identifizierung des Materials soweit möglich Fotos von der Kennzeichnung der auf dem Materialwagen gelagerten Gebinde des Markierungsstoffs und des Nachstreumittels angefertigt. Zudem wurde der Applikateur um Auskunft gebeten, welches Markierungssystem (BAST-Prüfzeugnis) eingesetzt wurde. Der Applikateur wurde zudem befragt, ob und ggf. in welcher Dosierung Verdünnungsmittel eingesetzt wurden.

Bei den Markierungsarbeiten wurden Prüfbleche zur Bestimmung der Materialmenge oder Schichtdicke sowie zur Dokumentation angefertigt.

Der Applikateur wurde nicht im Vorfeld der Applikation über die Probenahme informiert. Die Eigenüberwachung zu Beginn der Applikation durch den Applikateur und die Kontrollprüfung der Applikation durch den Prüfer wurden i. d. R. vor Beginn der Applikation zusammen durchgeführt, um den Zeitaufwand zu minimieren und Abweichungen noch vor Beginn der Applikation beheben zu können.

3.4 Kontrollprüfungen bei der Applikation

Begleitend zur Entnahme der Materialproben wurden Kontrollprüfungen während der Applikation durchgeführt. Entsprechend Abschnitt 7.1.3.2 der ZTV M 13 wurden folgende Kenngrößen messtechnisch bestimmt bzw. erfasst:

Die im Formular für die Eigenüberwachung gemäß ZTV M aufgeführten Kennwerte wurden erfasst. Weiterhin wurde die **Kennzeichnung des eingesetzten Markierungsstoffs und der Nachstreumittel** entsprechend Etikettierung der vor Ort vorgehaltenen Gebinde aufgenommen.

Die **Schichtdicke** wurde nach Abschnitt 7.2.1 der ZTV M 13 mit einem Messkamm, Messschieber (Folien) oder Schablone und Messkeil an der auf einem Prüfblech applizierten Markierung bestimmt. Die **Materialmenge** [kg/m²] von Agglomeratmarkierungen wurde anhand des Auswiegens eines ohne Nachstreumittel applizierten Prüfblechs berechnet.

Die **Masse der Nachstreumittel je m²** wurde in Anlehnung an (DREWES 2015) und entsprechend ZTV M 13, Abschnitt 7.2.4, durch Auswiegen der auf einer definierten Strecke aufgefangenen Masse an Nachstreumitteln bestimmt. Dazu wurde eine Strecke von 10 m auf der Straße markiert und bei unveränderten Einstellungen mit der Markiermaschine abgefahren. Die mit Hilfe eines unter der Nachstreueinheit der Maschine befestigten Beutels aufgefangene Masse wurde mit der tatsächlichen Abstreubreite zur Bestimmung der Menge verwendet.

Die **Verteilung und Einbettung der Nachstreumittel** wurde vor Ort visuell mit Hilfe einer Lupe bewertet (ZTV M 13, Abschnitt 7.2.4).

Bezüglich der **Geometrie** wurde die Strichbreite sowie bei unterbrochenen Markierungen die Strichlänge und die Länge eines Zyklus aus Strich und Lücke gemessen. Bei Agglomeratmarkierungen wurde nach (Drewes 2015) zwei Messlatten parallel zueinander an die Ränder der Markierung angelegt, um die Breite messen zu können.

Die **Flächenbedeckung von Agglomeratmarkierungen** ohne Grundstrich wurde in Anlehnung an DIN EN 13197 auf Basis eines Fotos, das senkrecht zur Markierung aufgenommen wurde, ermittelt. Durch eine Software-basierte Auswertung wurde die prozentuale Flächenbedeckung der Agglomeratmarkierung ermittelt. Zur Auswertung wurde die Software „Corel Photo-Paint“ eingesetzt.

Die **Trocknungszeit** wurde in Anlehnung an Anhang A, DIN EN 13197:2011 und nach (Drewes 2015), vor Ort an der auf dem Prüfblech applizierten Markierung bestimmt.

Wie beispielhaft in Abbildung 3-1 dargestellt, wurden bei nicht vorgefertigten Markierungen dünne **Prüfbleche** aus Metall oder Faserzement auf die Straßenoberfläche im Bereich der zu applizierenden Markierung gelegt. Die Bleche wurden bei Applikation der Markierung jeweils mit und ohne Nachstreumittel übermarkiert.

Gemäß ZTV M wurde die **Randbedingungen** wie Luft- und Oberflächentemperatur, rel. Luftfeuchte, Witterungsbedingungen, vorherige Trocknung der Straße, Straßenzustand, etc. erfasst.

3.5 Chemisch-physikalische Laborprüfungen

3.5.1 Analyse des Markierungsstoffs

Die Mustergleichheitsprüfungen wurden gemäß ZTV M 13 auf Grundlage der EN 12802, EN 1790, EN 1871 und EN 1423 durchgeführt. Die Durchführung der Analysen und Bewertung der Mustergleichheit erfolgte im Referat S4 der BAST. Die Tabelle 3-1 enthält eine Übersicht der für dieses Projekt angewandten Verfahren.

Tabelle 3-1: Übersicht der chemisch-physikalischen Prüfmethode nach TP M

Parameter	Lösemittel-haltige Far-ben (Primer)	reaktive Stoffe	Thermo-plastische Stoffe	Folien	Bezug
Dichte	x	x			DIN EN 12802 (ISO – 2811-1)
Flüchtige Anteile	x				DIN EN 12802
Bindemittelanteil	x	x	x		DIN EN 12802
Titandioxidgehalt	x	x	x		DIN EN 12802
Anteile der Premixkörper		x	x		DIN EN 12802
Veraschungsrückstand	x	x	x		DIN EN 12802
Infrarotspektrum des Binde-mittels	x	x	x		DIN EN 12802
Infrarotspektrum der Pigmen-te und Füllstoffe	x	x	x		DIN EN 12802
Bestimmung der VOC/ Monomere/ Oligomere	x	x			DIN EN 12802
Analyse der Klebeschicht				x	DIN EN 1790
Thermogramm				x	DIN EN 1790
Bildanalyse				x	TP M
Erweichungspunkt nach Wilhelmi			x		DIN EN 1871

Im Folgenden sollen die für die Urmuster und Mustergleichheitsprüfung im Rahmen dieses Projektes eingesetzten chemisch-physikalischen Prüfmethode in ihren Grundzügen beschrieben werden. Eine ausführliche Beschreibung der Prüfmethode kann z. B. (KILLING et al. 2002, KILLING 2010) entnommen werden.

Titandioxid ist ein Pigment mit hohem Weißgrad, das in Markierungsstoffen zu einem Anteil von ca. 8 bis 15 % enthalten ist (KILLING et al. 2005). Titandioxid ist aufgrund des Weißgrades für die Tagessichtbarkeit der Fahrbahnmarkierung relevant. Darüber hinaus spielt es eine wichtige Rolle für das Retroreflexionsvermögen des Markierungssystems, da der Anteil der diffusen Reflexion an der Rückseite des Reflexkörpers vom Weißgrad des Markierungsstoffes abhängt (s. Abb. 2-1) (KILLING et al. 2005). Die Prüfung erfolgt nach den TP M in Anlehnung an das in Anhang D der EN 12802 beschriebene Verfahren.

Das Verfahren „**Erweichungspunkt nach Wilhelmi**“ (prEN 1871:2008, Anhang G) dient der Charakterisierung der thermischen Eigenschaften von Thermoplastiken. Dazu wird die zu prüfende Thermoplastik in einen ringförmigen Probehälter gefüllt und eine Kugel mit definiertem Gewicht auf die Probenoberfläche gelegt. Der Probehälter ist in eine Flüssigkeit getaucht, die schrittweise erhitzt wird.

Der Erweichungspunkt ist die Temperatur, bei der die Kugel oder der Probehalter den Boden des Gefäßes berührt, in dem die Flüssigkeit enthalten ist (EHL et al. 1999).

Die **Bestimmung der organischen und anorganischen Anteile** erfolgt in Anlehnung an das in EN 12802 beschriebene Verfahren über Wägung des nach sechsstündiger Temperierung bei 105°C im Umluft-Trockenschrank erhaltenen Rückstandes. Dieser Rückstand wird für die Messung des Bindemittelanteils und des Anteils anorganischer Bestandteile weiterverwendet. Nach vierstündiger thermischer Behandlung bei 550°C im Muffelofen werden organische Bindemittel vollständig zersetzt. Der verbleibende Rückstand entspricht dem anorganischen Anteil. Durch Wägung vor und nach der thermischen Behandlung werden die jeweiligen Massenanteile bestimmt. Der erhaltene anorganische Rückstand wird dazu genutzt, um Pigmente und Füllstoffe zu identifizieren und den Gehalt an Titandioxid zu bestimmen (TP M).

Zur **Identifizierung von Bindemitteln, Pigmenten und Füllstoffen sowie der Analyse der Kleberschicht von Markierungsfolien** wird die Infrarotspektroskopie eingesetzt. Bei diesem bewährten analytischen Verfahren (KILLING 2010) erfolgt die Bewertung der Mustergleichheit durch einen Vergleich der ermittelten Infrarotspektren von Urmuster- und Mustergleichheitsproben.

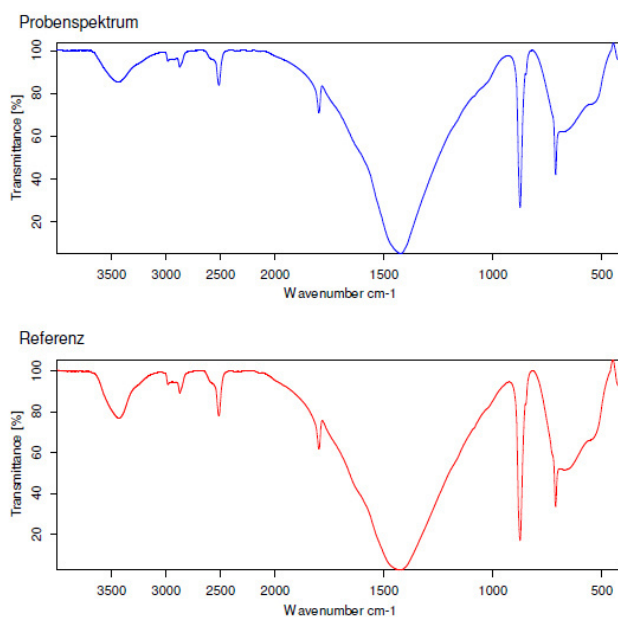


Abbildung 3-2: Gegenüberstellung der Infrarotspektren von anorganischen Pigmenten des Urmusters und der Mustergleichheitsprobe

In Abbildung 3-2 sind beispielhaft die Infrarotspektren des Bindemittels einer Thermoplastik für das Urmuster und die Mustergleichheitsprobe dargestellt. Auf der Ordinaten-Achse ist jeweils die Transmission (durchgelassene Strahlungsstärke) aufgetragen, die Abszissen-Achse zeigt die Wellenzahl (Kehrwert der Wellenlänge) des eingetragenen Lichts an. Neben dem Vergleich der Spektren dient die IR-Spektroskopie zudem der Identifizierung des untersuchten Stoffs. Für die Untersuchung IR-undurchlässiger Feststoffe hat sich die ATR-Technik (Attenuated Total Reflection) als geeignetes Verfahren erwiesen (KILLING et al. 2002), die beispielsweise zur Analyse der Kleberschicht nach DIN EN 1790 verwendet wird.

Die **Thermogravimetrische Analyse** wird im Rahmen der Urmuster und Mustergleichheitsprüfung zur Identifizierung von Straßenmarkierungsfolien eingesetzt. Straßenmarkierungsfolien bestehen aus in eine oder mehrere polymere Schichten eingebetteten Füllstoffen, Gewebeeinlagen, Reflexkörper, Griffigkeitsmitteln und weiteren Bestandteilen, die nicht mit vertretbarem Aufwand separiert und analysiert werden können (KILLING 2010). Die Thermogravimetrie bietet sich in diesem Fall an, da einfach ein Stück der gesamten Markierungsfolie ohne weitere Probenvorbereitung analysiert werden kann. Die Probe wird dazu bis 1000 °C erhitzt. Mit steigender Temperatur zersetzen sich schrittweise die einzelnen Bestandteile. Die hierdurch verursachte charakteristische Masseänderung wird erfasst und das sog. Thermogramm erstellt.

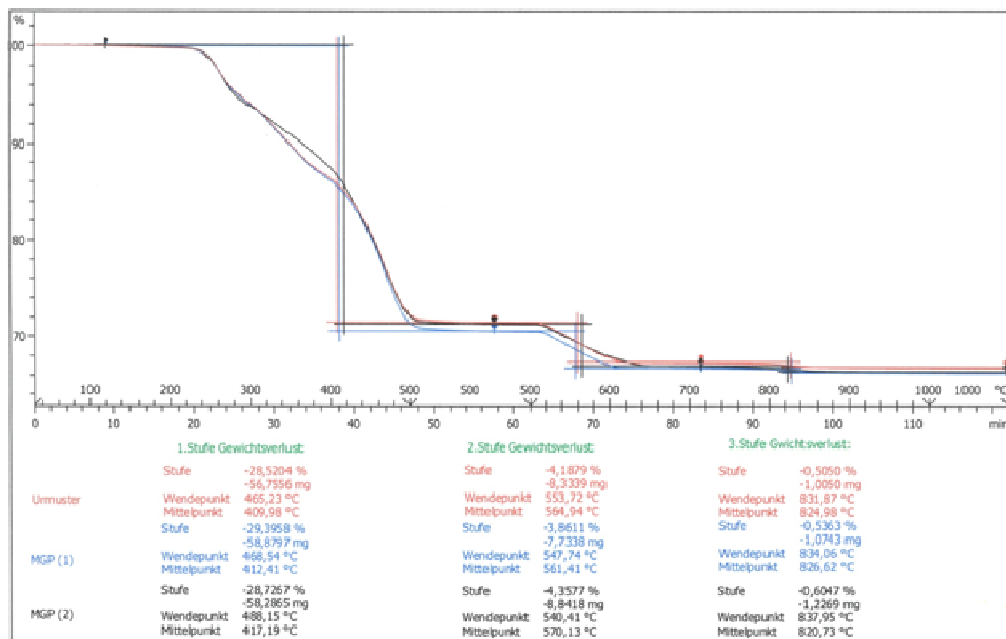


Abbildung 3-3: exemplarische Darstellung des Vergleichs zweier Thermogramme von Straßenmarkierungsfolien

Die Abbildung 3-3 zeigt beispielhaft den Vergleich der Thermogramme des Urmusters und der Mustergleichheitsprobe einer Markierungsfolie. Bei dem Diagramm ist der Masseverlust der Temperatur und Zeit gegenübergestellt. Thermogramme können als „Fingerabdruck“ verstanden werden, anhand dessen die verschiedenen Produkte identifiziert werden können. Das Verfahren ist in EN 1790, Anhang C, beschrieben.

Die **Headspace-Gaschromatographie** wird zur **Identifizierung flüchtiger organischer Verbindungen** wie z. B. von Lösemitteln in HS-Farben, aber auch von flüchtigen Komponenten von Kaltplastiken, angewandt. Das in der Probe enthaltene Lösemittel wird verdampft und mittels eines Trägergases in eine Kapillar-Trennsäule überführt. Das Lösemittel wandert durch die Trennsäule, wobei die Zeit vom Eintritt in die Säule bis zur Detektion am Ende der Säule erfasst wird. Bei der Detektion erzeugen die Lösemittel ein Signal („Peak“). Anhand der Höhe der Peaks sowie der ermittelten Dauer können die flüchtigen Verbindungen anhand eines Vergleichs mit bekannten Verbindungen bzw. deren Signal im Gaschromatogramm identifiziert werden (TP M).

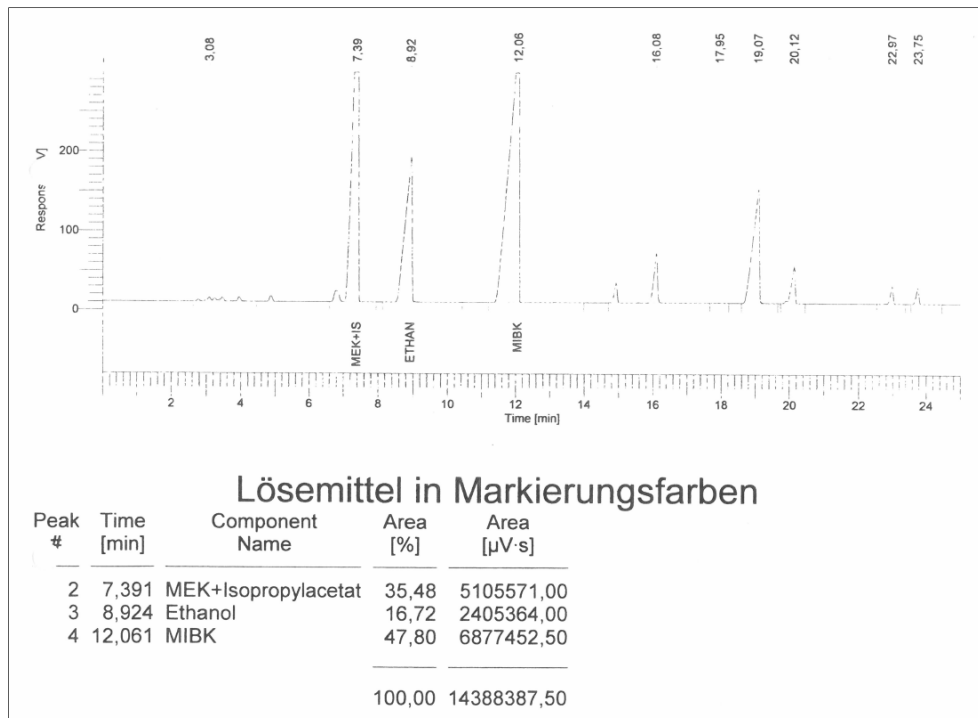


Abbildung 3-4: Exemplarisch dargestelltes Gaschromatogramm des Lösemittels einer HS-Farbe

In der Abbildung 3-4 ist exemplarisch das bei der Analyse eines Lösemittels einer HS-Farbe erstellte Gaschromatogramm mit drei „Peaks“ sowie deren stoffliche Zuordnung dargestellt.

Die Bestimmung der flüchtigen organischen Bestandteile in Markierungsstoffen und Beistoffen erfolgt in Anlehnung an DIN EN 12802 gaschromatographisch unter Verwendung eines massenselektiven Detektors (GC-MS).

Das in Anhang E der DIN EN 12809 beschriebene Verfahren zur Bestimmung des **Anteils an Premix-Glasperlen** bei Thermo- und Kaltplastiken hat sich als unzuverlässig und ineffizient erwiesen (KROTMANN et al. 2001). Ein von der BAST auf Basis der Dichtentrennung entwickeltes Verfahren ermöglicht die Bestimmung von Premix-Glasperlen und Griffigkeitsmitteln (KROTMANN et al. 2001), bedingt jedoch die Verwendung gesundheitsschädlicher Lösemittel. In Deutschland wird daher derzeit auf die Bestimmung des Anteils an Premix-Glasperlen verzichtet. Ersatzweise wird der Anteil der Premix-Körper bestimmt. Unter den Premix-Körpern wird die Summe aus Premix-Glasperlen und/oder Premix-Griffigkeitsmitteln verstanden. Die Bestimmung der Premix-Körper erfolgt in Anlehnung an DIN EN 12802, in dem eine Probe von 15 – 20 g des homogenisierten Markierungsstoffs bei 550°C im Muffelofen thermisch behandelt wird. Die verbleibenden anorganischen Anteile werden mit einem 90 μm -Sieb gesiebt. Anschließend wird der Siebrückstand nass gereinigt bis er frei von Pigmenten und Füllstoffen ist. Unterstützend kann zur Abtrennung ein Ultraschallbad und verdünnte Essigsäure zu Hilfe genommen werden. Der Rückstand wird im Trockenschrank bei ca. 150°C getrocknet und zurückgewogen.

Für die **Analyse von Markierungsfolien** wurden neben Anwendung der Thermogravimetrie und IR-Spektroskopie ergänzend zu DIN EN 1790 mit Hilfe eines Digitalmikroskops Breiten und Dicken gemessen (KILLING 2010).

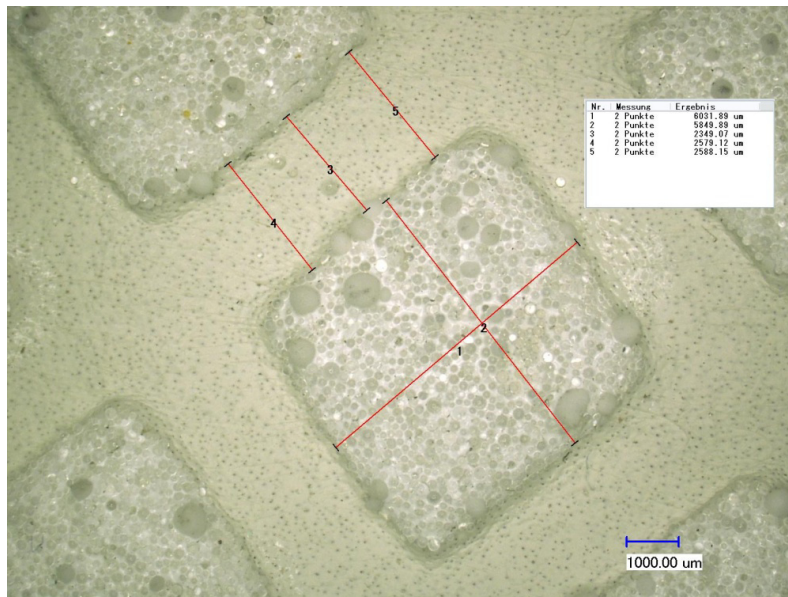


Abbildung 3-5: Bildanalyse der Oberfläche einer Markierungsfolie im Rahmen der Mustergleichheitsprüfung

Abbildung 3-5 zeigt exemplarisch die Messung von Abständen auf der Oberseite einer weißen Markierungsfolie bei 20facher Vergrößerung mit dem Mikroskop.

Toleranzen

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden zur Bewertung der Mustergleichheit des Markierungsstoffs folgende Toleranzen und Festlegungen entsprechend den ZTV M 13, TP M und EN 12802 angewandt:

Generell gilt eine Probe als musterungleich, wenn bei mindestens einem Merkmal eine Über- oder Unterschreitung der in den Regelwerken beschriebenen Toleranzen und Grenzen festgestellt wurde.

Für die Bewertung der Abweichungen bei chemisch-physikalischen Kenngrößen wurden die Toleranzen gemäß Abschnitt 5.8 der DIN EN 12802 angewandt (s. Tab. 3-2).

Weiterhin gelten nach DIN EN 12802 Infrarotspektren als übereinstimmend, wenn alle Absorptions- oder Transmissionsbanden vorhanden sind und keine signifikanten zusätzlichen Banden auftreten

Tabelle 3-2: Toleranzen gemäß EN 12802

Kenngröße	Relative Abweichung	Absolute Abweichung
Feststoffanteil [M.-%]	—	± 2
Dichte [g/cm ³]	—	Markierungsfarbe: ± 0,04
	—	Kaltplastikmasse: ± 0,06
	—	Heißplastikmasse: ± 0,10
Organische Bestandteile [M.-%]	10	± 2
Anorganische Bestandteile [M.-%]	—	± 3
Titandioxidanteil [M.-%]	10 (Bei TiO ₂ -Anteilen ≥ 10 M.-%)	± 1 (Bei TiO ₂ -Anteilen ≤ 10 M.-%)
Premixkörperanteil [M.-%] ¹⁾	20	± 5
Lösemittelanteil [M.-%]	—	± 3

¹⁾ Toleranzen in Anlehnung an die zulässigen Abweichung des Reflexkörperanteils nach DIN EN 12802

Das relative Intensitätsverhältnis der Banden zueinander darf sich im Urmuster- und Mustergleichheitsspektrum nicht wesentlich unterscheiden (EN 12802, TP M).

Thermogramme gelten als übereinstimmend, wenn alle Abbaustufen vorhanden sind und an derselben Stelle der Abszisse positioniert sind. Geringfügige Abweichungen in der Höhe der Abbaustufen werden entsprechend toleriert (TP M).

3.5.2 Analyse der Nachstreumittel

Zur Analyse der Nachstreumittel-Proben wurde im vorliegenden Projekt im Wesentlichen die **Partikelgrößenverteilung des Nachstreumittels** nach den TP M mit der in Abschnitt 2.7.2 beschriebenen videobasierten Partikelanalysemethode bestimmt.

Zur Auswertung der Partikelanalyse wurde das Ergebnis als Wertetabelle ausgegeben, in der die für die einzelnen Partikeldurchmesser bzw. Klassen aus oberem und unterem Durchmesser ermittelten Werte für die Kenngrößen „p3“ und „Q3“ aufgeführt sind. Die Werte sind gemäß EN 1423 für Durchmesser mit dem für Nachstreumittel relevanten Siebsatz R 40/3 nach ISO 565:1990 angegeben. Der Parameter „p3“ entspricht dem nicht kumulierten prozentualen Volumen-Anteil am Gesamtgemisch für den jeweils betrachteten Durchmesser. „Q3“ entspricht dem kumulierten prozentualen Partikelvolumen und wird durch Aufsummieren der einzelnen Anteile von „p3“ ermittelt.

Tabelle 3-3: Beispielhafte Darstellung des Ergebnisses der Partikelanalyse als Wertetabelle

Größenklasse [µm]		p3	Q3
unten	oben	[%]	[%]
0	106	0,01	0,01
106	125	0,01	0,02
125	150	0,05	0,07
150	180	0,09	0,16
180	212	0,13	0,29
212	250	0,19	0,48
250	300	0,39	0,87
300	355	0,86	1,73
355	425	2,58	4,31
425	500	7,78	12,09
500	600	26,51	38,6
600	710	34,11	72,71
710	850	22,41	95,12
850	1000	4,35	99,47
1000	1180	0,46	99,93
1180	1400	0,07	100
1400	1700	0	100
1700	2000	0	100
2000	∞	0	100

In Tabelle 3-3 ist beispielhaft das Ergebnis der Partikelanalyse eines Gemisches aus Reflexkörpern verschiedener Größe dargestellt. Bei diesem Beispiel bestehen ca. 34,1 Vol.-% des Gesamtgemisches aus Reflexkörpern mit einem Durchmesser von 600 µm bis 710 µm. 72,7 Vol.-% des Gesamtgemisches weisen einen Durchmesser ≤ 710 µm auf. In Anlehnung an die konventionelle Siebung mit Prüfsieben aus Metalldrahtgewebe wird bei „Q3“ vom kumulierten „(Sieb-)Durchgang“ gesprochen, während die Kenngröße „p3“ für den Rückstand maßgebend ist.

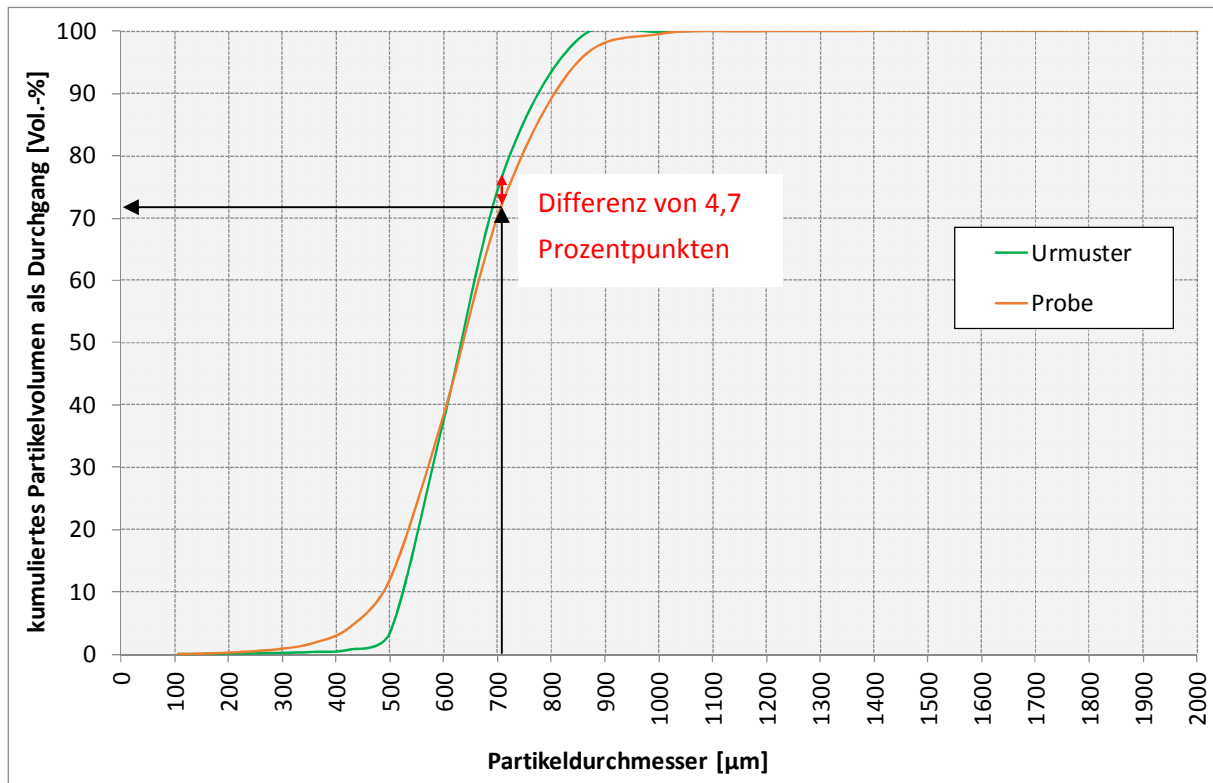


Abbildung 3-6: Beispielhafte Darstellung der Partikelverteilung als kumulierter prozentualer Durchgang

In der Abbildung 3-6 ist beispielhaft für das o. g. Beispiel die Partikelverteilung der analysierten Probe als kumulierter Durchgang als Funktion in einem Diagramm dargestellt. Ergänzend ist die Verteilung des Urmusters als grüne Kurve dargestellt. Aus dem Vergleich beider Funktionen können Aussagen zu Differenzen zwischen den beiden Gemischen getroffen werden.

Weiterhin wurde soweit möglich der **Anteil des Griffigkeitsmittels** des Nachstreumittelgemisches ermittelt (s. Abs. 2.8.2).

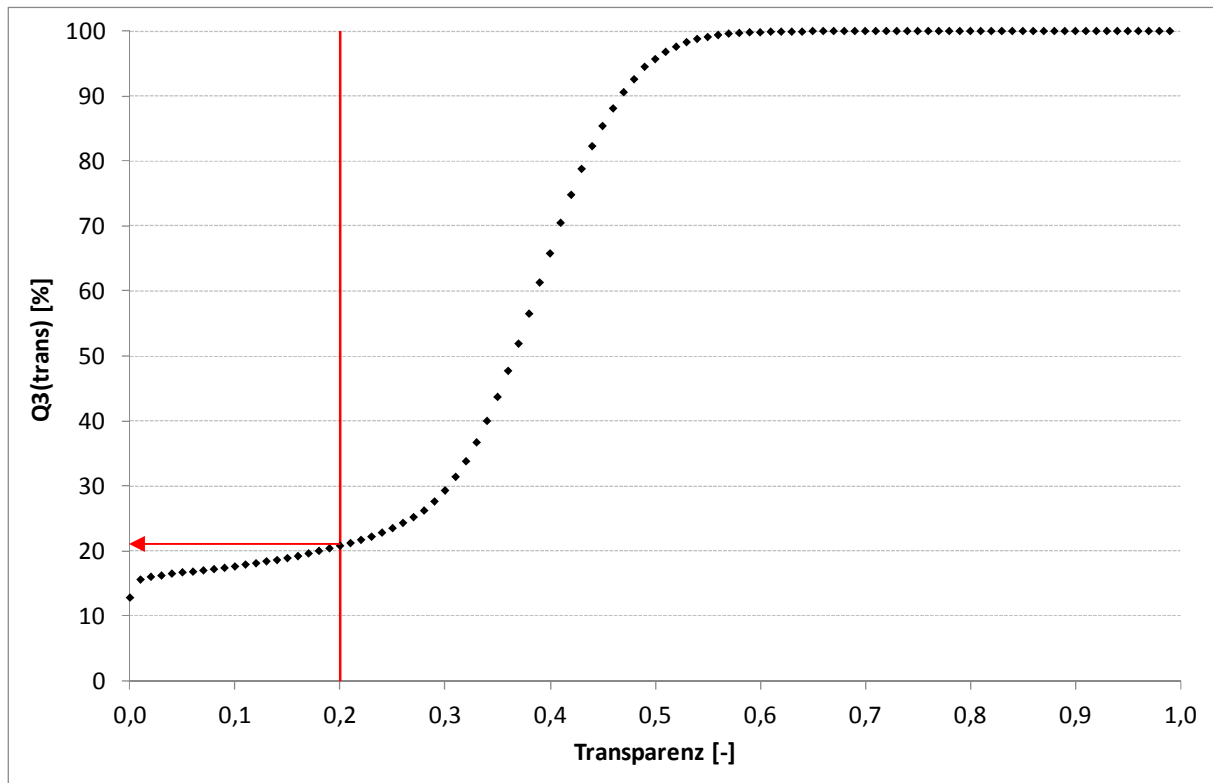


Abbildung 3-7: Beispiel für die Bestimmung des Anteils an Griffigkeitsmitteln

In Abbildung 3-7 ist beispielhaft der volumenbezogene kumulierte Siebdurchgang gegenüber der ermittelten Transparenz aufgetragen. Zudem ist der nach (RECKNAGEL et al. 2014) zu wählende Schwellenwert der Transparenz von 0,2 zur Unterscheidung von Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln eingetragen. Das in der Abbildung dargestellte Ergebnis der Analyse eines Nachstreumittelgemischs weist einen Anteil von 20,8 Vol.-% an Griffigkeitsmitteln auf.

Mit dem Mikroskop wurde eine **stoffliche Analyse des Nachstreumittels** vorgenommen. Die Analyse ist auf die visuelle Identifizierung des Stoffs bzw. von möglichen Abweichungen (z. B. fehlende Griffigkeitsmittel oder transparente Griffigkeitsmittel anstelle intransparenter Griffigkeitsmittel und umgekehrt) zwischen dem Urmuster und der Mustergleichheitsprobe beschränkt. Abbildung 3-8 zeigt exemplarisch die mit dem Mikroskop angefertigte Aufnahme eines Gemisches aus Reflexkörpern (Glasperlen) und intransparenten, weißen Griffigkeitsmitteln bei 50facher Vergrößerung.

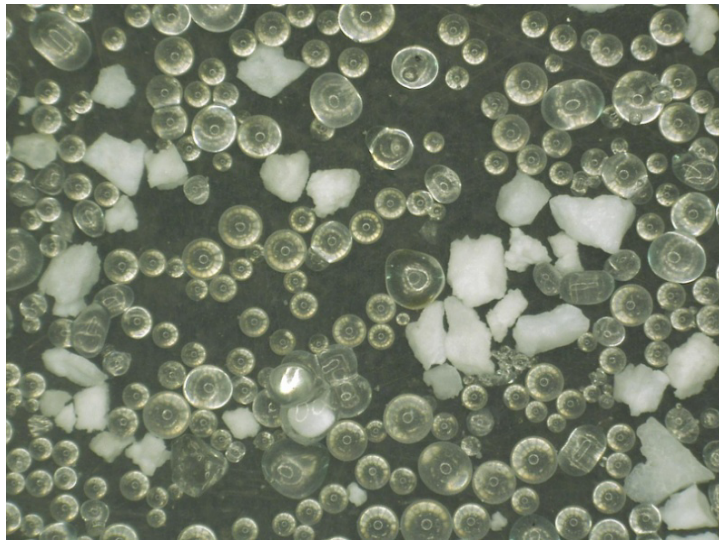


Abbildung 3-8: Aufnahme eines Nachstreumittel-Gemisches aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln mit dem Mikroskop bei 50facher Vergrößerung

Ein Vergleich zwischen dem Urmuster und der Mustergleichheitsprobe ist bei den Nachstreumitteln nur für Markierungen möglich, die ab 2008 auf der RPA geprüft wurden, da Rückstellmuster von Nachstreumitteln erst ab diesem Zeitpunkt aufbewahrt werden.

Toleranzen

Zur Bewertung der Ergebnisse wurden folgende Toleranzen angewandt:

Die Inhaltsstoffe der Nachstreumittel müssen identisch sein.

Hinsichtlich der Partikelgrößenverteilung der Nachstreumittel bzw. Nachstreumittelgemische werden im vorliegenden Projekt die Toleranzen gemäß Anhang C der TP M angewandt. Diese basieren auf der Einigung zur Qualitätssicherung von Nachstreumitteln zwischen Vertretern der Nachstreumittel-Industrie, der DSGS e. V. und der BAST vom 04.08.2011. Demnach ist die mit dem videobasierten Partikelanalyseverfahren bei der Eignungsprüfung ermittelte Partikelgrößenverteilung als Urmuster zu hinterlegen. Die zulässige Toleranz für das Nachstreumittelgemisch beträgt $\pm 50\%$ (rel.) des jeweiligen Einzelrückstands. Zudem sollen auf dem nächst kleineren Sieb laut ISO 565, Siebsatz R 40/3, unterhalb des oberen Nennsiebes 5 % (kumulativ) an Reflexperlen zurückgehalten werden.

Zum besseren Verständnis ist in Abbildung 3-9 die Überprüfung der o. g. Anforderung beispielhaft dargestellt. Bei dem Sieb mit einer Öffnungsweite von 600 μm wurden Rückstände von 39,7 Vol.-% (Urmuster) und 34,1 Vol.-% (Probe) festgestellt. Die ermittelte Differenz von 5,6 Prozentpunkten liegt innerhalb des nach den TP M maximal zulässigen Toleranzbereichs von 39,7 Vol.-% $\pm 19,9$ Vol.-% (19,8 bis 59,6 Vol.-%). Der Toleranzbereich ist als gestrichelte Ober- und Untergrenze dargestellt.

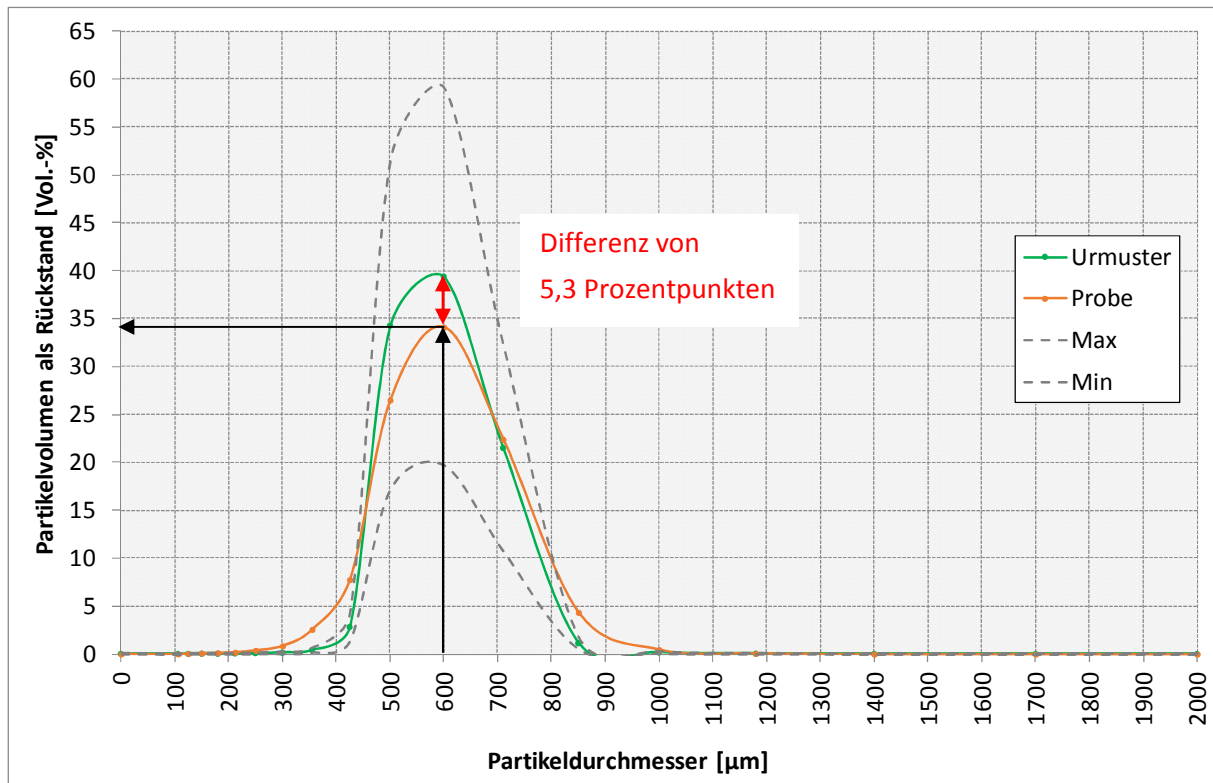


Abbildung 3-9: prozentualer Rückstand je Partikeldurchmesser

Ergänzend wird die Einhaltung der vom Hersteller in der Produktspezifikation für die Partikelgrößenverteilung der Nachstreumittel(gemische) genannten Toleranzen bewertet. Zudem wird überprüft, ob die vom Hersteller angegebene Partikelgrößenverteilung den Vorgaben der EN 1423 entspricht. So gelten gemäß den Abschnitten 4.1.3, 4.2.2, 4.3.3 der DIN EN 1423:2012 für die separate Beschreibung der Korngrößenverteilung von Reflexkörpern sowie von transparenten und intransparenten Griffigkeitsmitteln folgende Vorgaben:

Hinsichtlich des Verhältnisses von Reflexkörpern zu Griffigkeitsmitteln existieren derzeit in der EN 12802 und den TP M keine Toleranzen.

3.6 Messung im Gebrauchszustand

Die Messung der verkehrstechnischen Eigenschaften wird bei mustergleichen Markierungssystemen nach Möglichkeit zum Ende der Gewährleistungszeit durchgeführt. Die Untersuchung der vorhandenen Tages- und Nachtsichtbarkeit beinhaltet die Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei diffuser Beleuchtung Q_D nach DIN EN 1436:2009, Anhang A sowie des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion R_L (trocken/feucht) nach Anhang B der DIN EN 1436:2009. Zudem wurde der Verschleiß als prozentual verbleibender Flächenanteil mit Hilfe einer Bildanalyse-Software bestimmt und der Zustand bzw. die Abnutzung visuell mit einer Handlupe beurteilt. Die Anzahl der Messpunkte richtete sich nach der ZTV M in der für die Ausschreibung gültigen Fassung.

3.7 Auswertung der bei der BASt durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen

Für die Auswertung wurden im Zeitraum 2011 bis 2015 vom Referat S4 der BASt ausgestellten Prüfberichte für Mustergleichheitsprüfungen herangezogen. Mustergleichheitsprüfungen, die beim TÜV Rheinland (ehemals LGA Nürnberg) durchgeführt wurden, sind nicht in diese Auswertung eingeflossen.

Mustergleichheitsprüfungen an verschiedenen Komponenten mehrkomponentiger Markierungssysteme wurden als separate Prüfungen gewertet.

4 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Kontrollprüfungen bei der Applikation

Insgesamt wurden im Rahmen des Projektes 15 Probenahmen durchgeführt. Mehrheitlich wurden bei den untersuchten Applikationen Kaltplastiken appliziert (10 von 17). Der Anteil an Thermoplastiken (2), HS-Farben (2) sowie Markierungsfolien (2) und Kaltspritzplastiken (1) ist deutlich geringer (s. Tab. 4-1). Markierungsmaßnahmen mit Dispersionen und temporären Fahrbahnmarkierungen waren nicht Teil der Untersuchung.

Bei den Markierungen handelt es sich überwiegend um Typ II-Markierungssysteme (15 von 17), wobei sich diese wiederum in Agglomeratmarkierungen (9), Folien (2) und Typ II-Markierungen als Vollstrich (4) unterteilen. Der hohe Anteil an Typ II-Systemen sowie an Agglomeraten kann vermutlich auf die Beschränkung der Probenahme auf Bundesfernstraßen zurückgeführt werden (Ausnahme: Maßnahme 5).

Tabelle 4-1: Übersicht der Probenahmen und Messungen

Nr.	Datum	Straßentyp	Markierung
01	April 2010	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
02	Sep. 2010	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
03	Okt. 2010	Teststrecke	a) Kaltplastik, Agglomerat (Typ II) b) Kaltplastik, Vollstrich (Typ II) c) Folie (Typ II)
04	Juli 2011	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
05	Mai 2012	Gemeindestraße	2K-HS-Farbe, Vollstrich (Typ I)
06	Juli 2012	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
07	Juli 2012	Bundesstraße	Thermoplastik, Agglomerat (Typ II)
08	Aug. 2012	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
09	Aug. 2012	BAB	2K-HS-Farbe, Vollstrich (Typ I)
10	Okt. 2012	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
11	Sep. 2012	BAB	Kaltplastik, Vollstrich (Typ II)
12	Nov. 2012	Bundesstraße	Thermoplastik, Vollstrich (Typ II)
13	Jun. 2013	Bundesstraße	Folie (Typ II)
01 (Messung)	August 2013	BAB	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
14	Oktober 2013	Bundesstraße	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)
07 (Messung)	August 2014	Bundesstraße	Thermoplastik, Agglomerat (Typ II)
15	Oktober 2015	BAB	Kaltspritzplastik, Vollstrich (Typ II)
14 (Messung)	Dezember 2015	Bundesstraße	Kaltplastik, Agglomerat (Typ II)

Die Probenahmen 1 bis 15 sind im Folgenden einzeln beschrieben.

Probenahme 01

Die Probenahme 01 erfolgte am 23.04.2010 auf einer Autobahn bei der Applikation der in Fahrtrichtung linken Leitlinie. Dabei wurde auf einer Deckschicht aus Asphalt eine unregelmäßige Agglomeratmarkierung aus Kaltplastik appliziert (s. Abb. 4-1).



Abbildung 4-1: Agglomeratmarkierung bei Probenahme 01

Tabelle 4-2: Kennwerte der Applikation 01

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	unregelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,3-2,8 / ca. 2,3
Rezeptansatzverhältnis	-	k. A.
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	k. A. (60 %) / nicht bestimmbar (Grundstrich)
Trocknungszeit (SOLL/IST)		T3 / k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL/IST)		3 : 1 / 85 % zu 15 %
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	400 / k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	große Reflexkörper sind etwas zu gering eingebettet; Verteilung ist gut.
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,15 / 0,15

Sowohl der applizierte Markierungsstoff als auch das Nachstreumittel (kurz: NSM) weisen geringfügig vom zugehörigen BAST-Prüfzeugnis abweichende Produktbezeichnungen auf (s. Tab. 4-2). Auf einen Austausch der Produkte wurde verzichtet.

Probenahme 02

Die Proben wurden bei Markierungsarbeiten am 29.09.2010 entnommen. Auf einer Autobahn wurde eine Agglomeratmarkierung aus Kaltplastik als Breitstrich (30 cm) zur Begrenzung des rechten Fahrbahnrandes zum Seitenstreifen appliziert (s. Abb. 4-2). Die Markierung wurde nach dem Fräsen einer Altmarkierung auf einer Deckschicht aus Beton appliziert.



Abbildung 4-2: Applikation der Randmarkierung (links) und Agglomeratmarkierung (rechts)

Tabelle 4-3: Kennwerte der Applikation 02

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	unregelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,2 / 2,8
Rezeptansatzverhältnis (SOLL/IST)	-	100:1 / 100:1
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	83 / 82
Trocknungszeit		k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel		ohne
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	450 / k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,3 / 0,3

Die erfassten Angaben zur Applikation sind in Tabelle 4-3 aufgeführt. Die Bezeichnung des Markierungsstoffs laut Gebinde-Kennzeichnung stimmte mit dem zugehörigen BASt-Prüfzeugnis überein. Die Kennzeichnung des Nachstreumittel-Gebindes wurde nicht erfasst.

Probenahme 03

Die Probenahme erfolgte bei einer Applikation für ein weiteres Forschungsprojekt der BASt am 29.10.2010 auf einer gesperrten Strecke im für den Tagebau vorgesehenen Gebiet. Abweichend vom Untersuchungskonzept stellt diese Applikation somit keine reguläre Applikation dar.

Bei der Applikation wurden drei unterschiedliche BASt-geprüfte Markierungssysteme eingesetzt. Applikationsbegleitende Untersuchungen konnten nur in eingeschränktem Umfang durchgeführt werden; die Analyse beschränkt sich weitgehend auf die chemisch-physikalischen Untersuchungen.

Die Markierung **03 A** wurde als durchgehende Agglomeratmarkierung aus zwei parallel applizierten Strichen (b = 15 cm) ausgeführt. Die Agglomeratmarkierung aus Kaltplastik wurde mit regelmäßiger Struktur maschinell appliziert und mit Reflexkörpern abgestreut (s. Abb. 4-3).

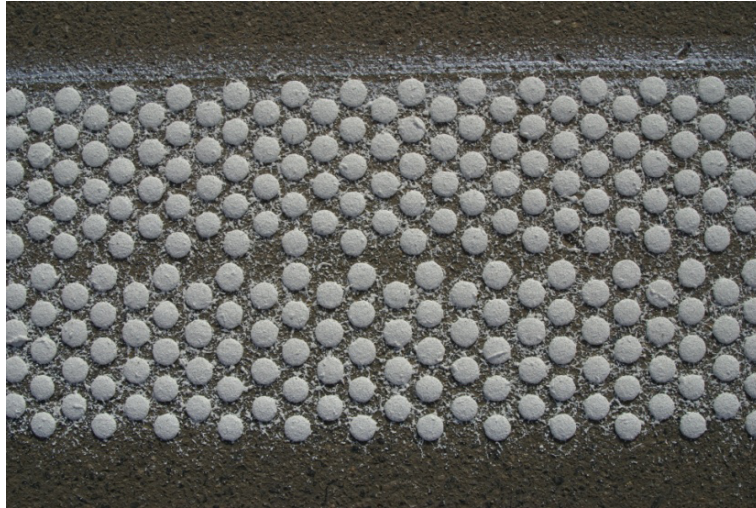


Abbildung 4-3: Applikation der regelmäßigen Agglomeratmarkierung (links) und Draufsicht Agglomeratmarkierung (rechts) 03 A

Die Produktbezeichnung des eingesetzten Nachstreumittels wich geringfügig vom BAST-Prüfzeugnis ab. Auf einen Austausch wurde verzichtet. Für weitere Angaben zur Applikation siehe Tab 4-4.

Tabelle 4-4: Kennwerte der Applikation 03 A

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	regelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,2-2,8 / ca. 2,7
Rezeptansatzverhältnis (SOLL/IST)	-	100/1
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	60 % / etwa 60 %
Trocknungszeit	-	k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel	-	-
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	400 g/m ² / k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,3 / 0,3

Die Probenahme **03 B** erfolgte bei der Applikation einer dickschichtigen Markierung als Vollstrich aus Kaltplastik. Der Markierungsstoff wurde manuell mit einem Ziehschuh appliziert (s. Abb. 4-4). Als Nachstreumittel wurde ein Gemisch aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln eingesetzt. Das Nachstreumittel wurde ebenfalls manuell appliziert.

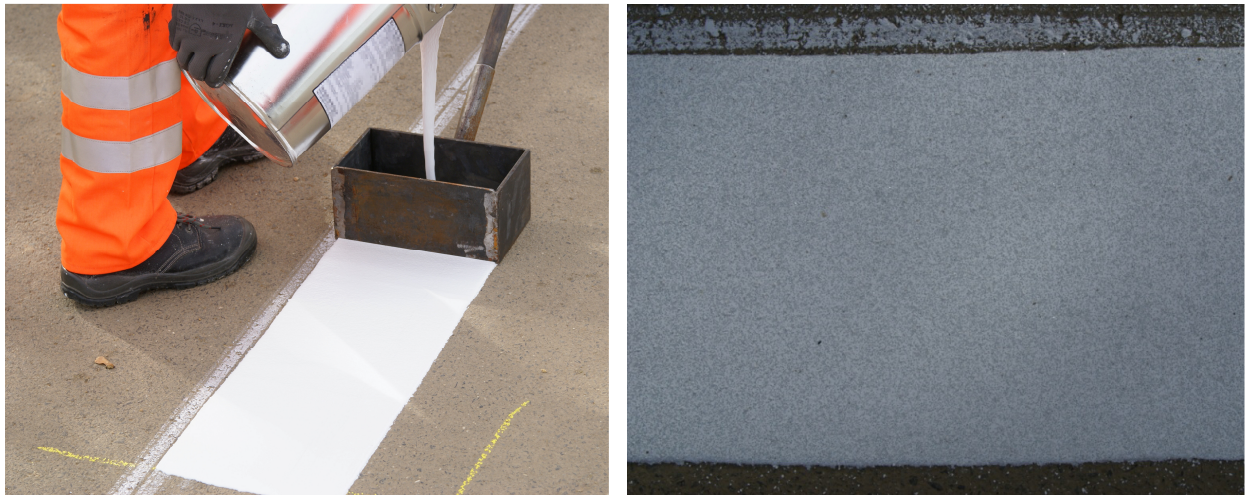


Abbildung 4-4: Manuelle Applikation der Markierung als Vollstrich (links) und Draufsicht (rechts) 03 B

Angaben zur Applikation sind in Tab. 4-5 aufgeführt. Das verwendete Nachstreumittel entspricht nicht dem im BASt-Prüfzeugnis genannten Nachstreumittel.

Tabelle 4-5: Kennwerte der Applikation 03 B

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	dickschichtiges System als Vollstrich (Typ II)
Schichtdicke (SOLL/IST)	kg/m ²	3.000 / 2.300 (rechnerisch ermittelt)
Rezeptansatzverhältnis (SOLL/IST)	-	100/1
Trocknungszeit		T3 / k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel		3:1
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	500 / k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	etwas zu gering eingebettet, gute Verteilung
Strichbreite (SOLL/IST)	m	30 / 30

Bei der Applikation zu **03 C** wurde eine weiße vorgefertigte Straßenmarkierungsfolie in einer Breite von 30 cm aufgebracht. Die Markierungsfolie wurde nach Auftragung eines Primers appliziert und anschließend mehrfach mit einer Handwalze angepresst (s. Abb. 4-5 und Tab. 4-6).

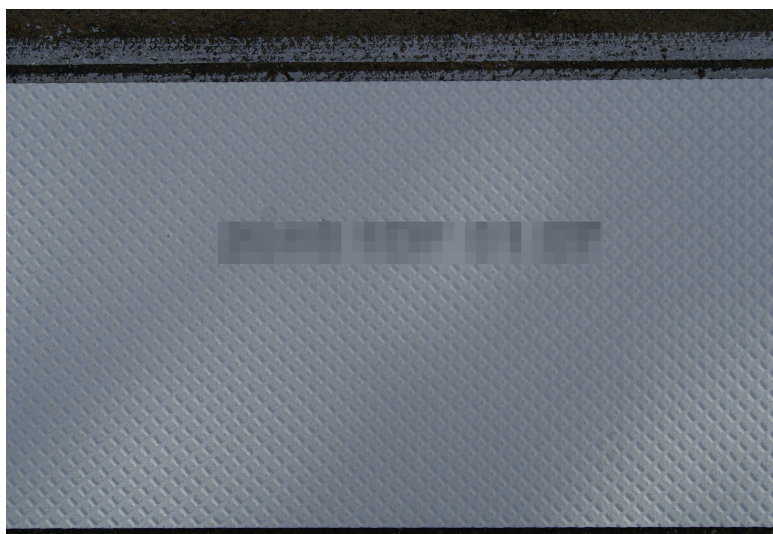


Abbildung 4-5: Applikation der Markierungsfolie (links) und Draufsicht (rechts) 03 C

Tabelle 4-6: Kennwerte der Applikation 03 C

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	vorgefertigte Straßenmarkierungsfolie (Typ II)
Schichtdicke (SOLL/IST)	mm	2,5 / ca. 2,5
Strichbreite (SOLL/IST)	cm	30 / 30

Probenahme 04

Die Probenahme erfolgte bei nächtlichen Markierungsarbeiten am 05.07.2011. Die regelmäßige, "Dot-förmige" Agglomeratmarkierung wurde auf einer Asphaltdecke nach vorherigem Feinfräsen und Reinigen appliziert (s. Abb. 4-6).

**Abbildung 4-6: Applikation 04 auf der Schiersteiner Brücke**

Laut Kennzeichnung der Gebinde auf dem Materialwagen wurde ein Nachstreumittel mit vom BAST-Prüfzeugnis abweichender Bezeichnung eingesetzt. Auf einen Austausch wurde verzichtet. Weitere Angaben zur Applikation finden sich in Tabelle 4-7.

Tabelle 4-7: Kennwerte der Applikation 04

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	regelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,5 / 2,6 (durch Auswiegen)
Rezeptansatzverhältnis	-	-
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	k. A.
Trocknungszeit		k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel	-	k. A.
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL/IST)	m	

Probenahme 05

Die Applikation erfolgte am 29.05.2012 auf einer Gemeindestraße. Es wurde ein dünnschichtiges System aus 2K-HS-Farbe eingesetzt, um den rechten Fahrbahnrand als Breitstrich sowie die Leitlinie als Schmalstrich zu markieren (s. Abb. 4-7).

Tabelle 4-8: Kennwerte der Applikation 05

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	2K-HS-Farbe
Markierungstyp	-	Vollstrich, dünnschichtig (Typ I)
Schichtdicke (SOLL/IST)	kg/m ²	k. A.
Rezeptansatzverhältnis	-	k. A.
Trocknungszeit (SOLL/IST)	-	T2 / k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)	-	70:30
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	240 g/m ² / k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	ungleichmäßig
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,12/0,13 und 0,25 / 0,25

Die Bezeichnung des applizierten Markierungsstoffs auf dem Gebinde entsprach dem zugehörigen BASt-Prüfzeugnis. Die Bezeichnung des Nachstreumittels weicht geringfügig vom BASt-Prüfzeugnis ab. Auf einen Austausch wurde verzichtet.

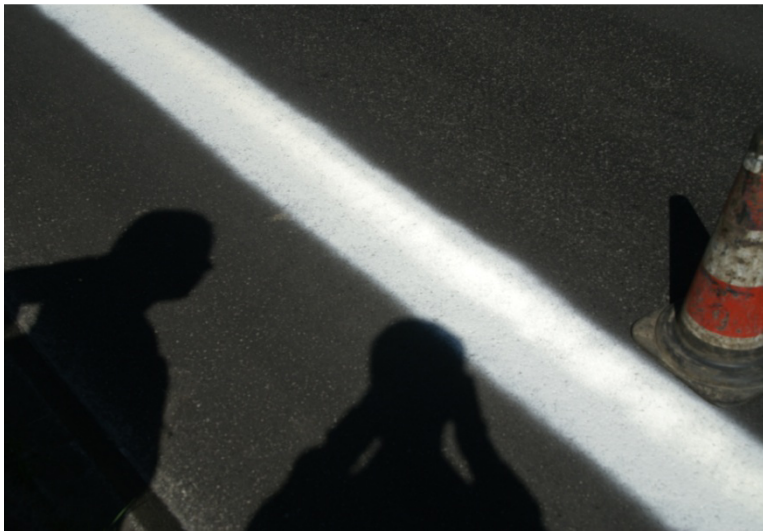


Abbildung 4-7: Ansicht Markierung bei Probenahme 05

Die Ausführung wies diverse Unzulänglichkeiten auf, wie z. B. eine unscharfe Begrenzung des Markierungszeichens. Es wurde nicht fluchtgerecht markiert und die Nachstreumittel waren ungleichmäßig über die Oberfläche verteilt (s. Abb. 4-7, links). Die Markierung wurde später durch ein dickschichtiges Markierungssystem ersetzt.

Probenahme 06

Die Probenahme erfolgte bei der Applikation am 04.07.2012 auf einer Autobahn. Die Altmarkierung wurde durch Fräsen entfernt; anschließend wurde die Asphaltdecke gereinigt. Die Markierung als 30 cm-Breitstrich zur Begrenzung des rechten Fahrbahnrandes (Abgrenzung zum Seitenstreifen) wurde als unregelmäßiges Agglomerat aus Kaltplastik ausgeführt (s. Abb. 4-8).



Abbildung 4-8: Markierung auf dem Prüfblech in der Draufsicht bei Probenahme 06

Tabelle 4-9: Kennwerte der Applikation 06

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	unregelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,5 / 2,63
Rezeptansatzverhältnis (SOLL/IST)	-	1:1 / 98:2
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	≥ 60 % / > 60 % (geschätzt)
Trocknungszeit (SOLL/IST)	-	T3 / k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel		keine
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	370 / 485
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL/IST)	cm	0,3 / 0,3
Strichlänge (SOLL/IST)	cm	durchgehend

Abweichend vom Prüfzeugnis wurde anstelle des angebotenen dreikomponentigen Systems ein zweikomponentiges System mit Rezeptansatzverhältnis 98 : 2 appliziert. Das Rezeptansatzverhältnis definiert das Mischungsverhältnis zwischen Härter und Stammkomponente. Laut den „Informationen zur Freigabeliste für Markierungssysteme“ (BASt, Stand: Januar 2014) ist eine Applikation mit einem vom BASt-Prüfzeugnis abweichenden Mischungsverhältnis zulässig.

Das applizierte Nachstreumittel wies eine vom BASt-Prüfzeugnis abweichende Bezeichnung auf.

Die Nachstreumittel- und Materialmenge entsprachen ohne weitere Anpassungen der Einstellungen an der Markiermaschine den Anforderungen des BASt-Prüfzeugnisses. Weitere Angaben sind in Tabelle 4-9 enthalten.

Probenahme 07

Am 31.07.2012 wurden Proben bei der Applikation eines regelmäßigen Thermoplastik-Agglomerates auf dem neu gebauten Abschnitt einer Bundesstraße entnommen. Die Asphaltdecke war zum Zeitpunkt der Probenahme noch nicht für den Verkehr freigegeben. Appliziert wurde u. a. ein durchgehender Schmalstrich als linke Fahrbahnbegrenzung.



Abbildung 4-9: Draufsicht Agglomeratmarkierung bei Probenahme 07

Tabelle 4-10: Kennwerte der Applikation 07

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Thermoplastik
Markierungstyp	-	regelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	4,7 < 3,4
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	ca. 71 / ca. 70
Trocknungszeit (SOLL/IST)	-	T2 / T2
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)	-	5 zu 1 im Gemisch
NSM-Menge (SOLL / IST)	g/m ²	450 / 468
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL / IST)	m	0,12 / 0,12
R _L / Q _D vor Ort:	mcdl*m ⁻² *lx ⁻¹	335 / 218

Die Bezeichnung des Markierungsstoffs weicht laut Aufschrift der Gebinde geringfügig voneinander ab. Anstelle des gemäß BAST-Prüfzeugnis einzusetzenden Nachstreumittels wurde ein anders benanntes Nachstreumittel verwendet. Die Bezeichnung des eingesetzten Markierungsstoffs unterschied sich geringfügig von der Angabe im BAST-Prüfzeugnis. Auf einen Austausch wurde verzichtet.

Die Mindestmaterialmenge gemäß ZTV M von 2,2 kg/m² wurde erfüllt. Die ermittelte Materialmenge unterschritt mit 3,4 kg/m² die nach BAST-Prüfzeugnis erforderliche Menge von 4,7 kg/m². Die Nachstreumittelmenge erfüllte ohne weitere Nachjustierung an der Markiermaschine die Anforderungen des BAST-Prüfzeugnisses.

Probenahme 08

Die Probenahme erfolgte am 14.08.2012 auf einer Autobahn im Bereich des Knotenpunktes. Die Applikation erfolgte auf einer Asphaltdecke; die vorhandene Altmarkierung wurde vorher gefräst. Aufgrund des für den Auftragnehmer eingeschränkten Zeitraums für die Applikation und Verzögerungen im Ablauf war nur eine eingeschränkte Untersuchung möglich. Es wurden Materialproben aus der Markiermaschine entnommen und der Applikateur fertigte ein Prüfblech an. Die eigentliche Applikation konnte nicht begleitet werden.



Abbildung 4-10: Vorbereitung zur Applikation (links) und Draufsicht Prüfblech (rechts) bei Probenahme 08

Tabelle 4-11: Kennwerte der Applikation 08

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp (SOLL/IST)	-	unregelmäßiges Agglomerat / regelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,2 / ca. 2,6
Rezeptansatzverhältnis	-	k. A.
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	74 / k. A. Die vorhandene Flächenbedeckung konnte aufgrund des geringen Kontrastes zwischen der Oberfläche des Prüfblechs aus Faserzement und der Markierung nicht bestimmt werden.
Trocknungszeit	-	k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)	-	k. A.
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	Einbettung nur ca. 40 %, Verteilung gut
Strichbreite (SOLL/IST)	cm	k. A.
Strichlänge (SOLL/IST)	cm	k. A.

Die am Prüfblech ermittelte Materialmenge - nach rechnerischem Abzug der Menge der Nachstreu- mittel - erfüllt die Mindestmenge gemäß BAST-Prüfzeugnis. Abweichend wurde die Agglomeratmar- kierung mit regelmäßiger „Dot-förmiger“ Struktur anstelle der im BAST-Prüfzeugnis dargestellten unregelmäßigen Struktur ausgeführt (s. Abb. 4-10).

Probenahme 09

Die Probenahme erfolgte am 23.08.2012 auf einer Autobahn bei der Applikation eines Sperrgatters als Schrägstrich (s. Abb. 4-11).



Abbildung 4-11: Appliziertes Sperrgatter (links) und Draufsicht Fahrbahnmarkierung (rechts) bei Probenahme 09

Tabelle 4-12: Kennwerte der Applikation 09

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	HS-Farbe
Markierungstyp	-	dünnschichtige Vollstrichmarkierung (Typ I)
Schichtdicke (SOLL/IST)	kg/m ²	- / 360 µm (rechnerisch bestimmt nach Auswiegen)
Rezeptansatzverhältnis	-	-
Trocknungszeit		-
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)	-	-
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	(manuelles Nachstreuen)
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	Einbettung etwas zu gering, inhomogene Verteilung
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,5 / 0,5
Abstand (SOLL/IST)	m	3,0 / 2,0

Es wurde abweichend von den ZTV M ein nicht BAST-geprüftes Markierungssystem appliziert. Die HS-Farbe war zum Auffrischen der Sperrgatter-Markierung vorgesehen, wobei eine Altmarkierung nicht mehr vorhanden war. Das für eine Breite des Strichs von 0,5 m übliche Maß für den Zwischenabstand gemäß den RMS von 3,0 m wurde nicht eingehalten.

Die HS-Farbe wurde manuell mit einer Sprühpistole mit Druckluft aus der Applikationsmaschine appliziert. Das Nachstreuen erfolgte ebenfalls manuell. Die Verteilung der Reflexkörper über die Markierung sowie die Nachstreumittelmenge waren ungleichmäßig.

Probenahme 10

Am 08.10.2012 wurden Proben bei Arbeiten zur Applikation der linken und rechten Fahrstreifenbegrenzung sowie der Leitlinie auf einer Autobahnbrücke entnommen.

Vor der Applikation wurde mechanisch gefräst und maschinell gereinigt. Anschließend wurde ein unregelmäßiges Agglomerat appliziert, das mit Reflexkörpern abgestreut wurde. Die Applikation erfolgte mit selbstfahrender Aufsitzmaschine (s. Abb. 4-12).



Abbildung 4-12: Applizierte Fahrbahnbegrenzung (links) und Draufsicht Agglomerat (rechts) bei Probenahme 10

Die Einstellung der Nachstreumittelmenge erwies sich als sehr zeitaufwendig. Zunächst mussten die Nachstreumittel im Schlauch der Markiermaschine ausgetauscht werden, da sie nass waren. Die folgende Bestimmung der Nachstreumittelmenge ergab eine gemäß BAST-Prüfzeugnis zu geringe Menge von ca. 410 g/m². Daraufhin wurden mehrfach Anpassungen an der Maschine bzw. Nachstreumiteleinheit vorgenommen. Obwohl ein Austausch der Ritzel vorgenommen wurde, wurde die nach BAST-Prüfzeugnis erforderliche Menge geringfügig unterschritten. Die Applikation wurde schließlich angesichts der sich verschlechternden Wetterlage nach Rücksprache mit dem Auftraggeber mit 440 g/m² anstelle der geforderten 450 g/m² durchgeführt.

Tabelle 4-13: Kennwerte der Applikation 10

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	unregelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,2 / 2,7
Rezeptansatzverhältnis	-	k. A.
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	74 / 68-69
Trocknungszeit (SOLL/IST)	-	T3 / T3
Anteil Griffigkeitsmittel	-	ohne
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	450 / 440
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,15 / 0,15
Strichlänge (SOLL/IST)	m	nicht unterbrochen

Die Bezeichnung des eingesetzten Markierungsstoffs gemäß Aufschrift der Gebinde entsprach dem BAST-Prüfzeugnis. Das Nachstreumittel wies gemäß Kennzeichnung des Gebindes eine geringfügig vom BAST-Prüfzeugnis abweichende Bezeichnung auf (425 – 850 µm anstelle 400 – 800 µm).

Die ermittelte Flächenbedeckung erfüllte die Anforderung der ZTV M 13 bzw. des Merkblatts für Agglomeratmarkierung, lag jedoch geringfügig unterhalb des im BAST-Prüfzeugnis angegebenen Wertes.

Probenahme 11

Die Probenahme erfolgte auf einer Autobahn im Rahmen der Erneuerung der Fahrbahnmarkierung am 17.09.2012. Die Applikation erfolgte nach Entfernung der Altmarkierung durch Feinfräsen auf einer Fahrbahndecke aus Splittmastixasphalt.

Tabelle 4-14: Kennwerte der Applikation 11

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	dickschichtiges System als Vollstrich (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	k. A.
Rezeptansatzverhältnis	-	k. A.
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	k. A.
Trocknungszeit	-	k. A.
Anteil Griffigkeitsmittel		k. A.
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	k. A.
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	k. A.
Strichbreite (SOLL/IST)	cm	k. A.
Strichlänge (SOLL/IST)	cm	k. A.

Die Probenahme erfolgte durch Mitarbeiter der Straßenbauverwaltung. Applikationsbegleitende Untersuchungen konnten entsprechend nicht durchgeführt werden.

Probenahme 12

Am 20.11.2012 wurden Proben bei der Applikation eines dickschichtigen Markierungssystems aus Thermoplastik als Vollstrich nach einer Deckenerneuerung auf einer Bundesstraße entnommen (s. Abb. 4-13). Die Markierung wurde als durchgehende Fahrstreifenbegrenzung als Schmalstrich auf der neuen Asphaltdecke appliziert. Die Decke wurde vor der Applikation mit einem Brenner getrocknet.

Tabelle 4-15: Kennwerte der Applikation 12

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Thermoplastik
Markierungstyp	-	dickschichtiges System als Vollstrich (Typ II)
Schichtdicke (SOLL/IST)	mm	2,0/ 2,1
Trocknungszeit (SOLL/IST)	-	T2 / T3
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)		3:1
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	400 / 317
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	große Reflexkörper sehr gering eingebettet, kleinere etwas besser. Verteilung gut.
Strichbreite (IST/SOLL)	m	0,12 / 0,12



Abbildung 4-13: Applizierte Markierung (links) und Draufsicht Markierung (rechts) bei Probenahme 12

Die Begleitung der Eigenüberwachung ergab eine Unterschreitung der Nachstreumittelmenge, die aufgrund fehlender Ritzel nicht vollständig behoben werden konnte.

Die Untersuchung der applizierten Markierung mit der Lupe ergab, dass die größeren Reflexkörper mehrheitlich nicht ausreichend in den Markierungsstoff eingebettet waren.

Probenahme 13

Im Rahmen des Neubaus einer Ortsumgehung (Bundesstraße) wurden am 04.06.2013 Proben bei der Verlegung einer Fahrbahnmarkierungsfolie als Fahrbahnbegrenzung (Schmalstrich 0,12 m) entnommen. Die Markierungsfolie wurde auf einer vorher aufgetragenen Bitumenschicht appliziert (s. Abb. 4-14).



Abbildung 4-14: Applikation der Bitumenschicht (links) und applizierte Folie auf Bitumenschicht (rechts) bei Probenahme 13

Tabelle 4-16: Kennwerte der Applikation 13

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	vorgefertigte Straßenmarkierungsfolie (Typ II)
Schichtdicke (SOLL/IST)	mm	2,5 / ca. 2,5
Strichbreite (SOLL/IST)	cm	12 / 12

Bei der Applikation wurde festgestellt, dass die gemessene Dicke der Bitumenschicht (2 mm) die laut Herstellerangaben (Applikationsanweisung) empfohlene Schichtdicke (1 mm) überschritt. Eine Korrektur war aufgrund der nach Aussage des Applikateurs groben Körnungen im Bitumen nicht möglich.

Probenahme 14

Die Proben wurden bei der Applikation einer Fahrstreifenbegrenzung als Doppelstrich (Schmalstrich) zur Trennung der Richtungen (2+1-Querschnitt) auf einer Bundesstraße am 07.10.2013 entnommen. Es wurde eine unregelmäßige Agglomeratmarkierung aus Kaltplastik appliziert, die mit einem Nachstreumittel aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln abgestreut wurde (s. Abb. 4-15). Der Untergrund war ein Gussasphalt mit offener Oberfläche.

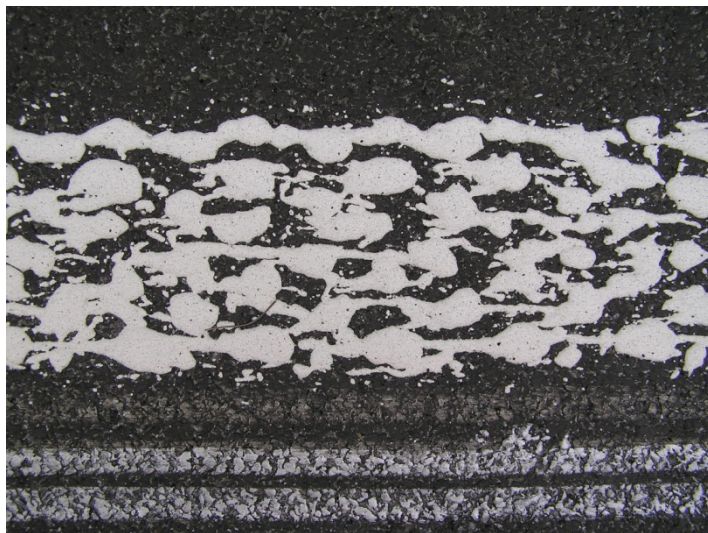


Abbildung 4-15: Selbstfahrende Aufsitzmaschine (links) und Draufsicht Agglomeratmarkierung (rechts) bei Probenahme 14

Abweichungen vom BAST-Prüfzeugnis z. B. hinsichtlich der Material- und Nachstreumittelmenge und bei den Produktbezeichnungen wurden bei der Applikation nicht festgestellt.

Tabelle 4-17: Kennwerte der Applikation 14

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltplastik
Markierungstyp	-	unregelmäßiges Agglomerat (Typ II)
Materialmenge Stoff (SOLL/IST)	kg/m ²	2,2 bis 2,5 / 2,25
Rezeptansatzverhältnis (SOLL/IST)	-	98:2 / 98:2
Flächenbedeckung (SOLL/IST)	%	k. A. (60 %) / 63 - 66
Trocknungszeit (SOLL/IST)		T3 / T5
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)		3 : 1
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	500 / 536
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	gut
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,12 / 0,12

Probenahme 15

Die Applikation einer Kaltspritzplastik als Typ II-System auf einer Autobahn wurde am 19.10.2015 durchgeführt. Die Leitlinie wurde auf einer neuen Asphaltdecke aufgebracht (s. Abb. 4-16). Vor der Applikation wurde die Fahrbahn mit einer Kehrmaschine gereinigt.



Abbildung 4-16: Applikation der Leitlinie (rechts) und Draufsicht Markierung (rechts) bei Probenahme 15

Tabelle 4-18: Kennwerte der Applikation 15

Kennwert	Einheit	Ausprägung
Materialart	-	Kaltspritzplastik
Markierungstyp	-	dünnschichtig, Vollstrich (Typ II)
Schichtdicke (SOLL/IST)	µm	600 µm / > 600 µm
Rezeptansatzverhältnis	-	1/1 (1%)
Trocknungszeit (SOLL/IST)	-	T2 / T4
Anteil Griffigkeitsmittel (SOLL)	-	70 : 30
NSM-Menge (SOLL/IST)	g/m ²	470 / 500
Einbettung u. Verteilung der NSM durch visuelle Bewertung	-	teils zu gering eingebettet. Verteilung leicht inhomogen.
Strichbreite (SOLL/IST)	m	0,15 / 0,15 0,149
Länge / Lücke (IST)	m	6 / 12
R _f /Q _D (Prüfblech)	mccl*m ⁻² *lx ⁻¹	208 / 248

Die vor Ort ermittelte Trocknungszeit fiel länger aus als bei der Laborprüfung im Rahmen der Eignungsprüfung. Dies stellt gemäß ZTV M 13 keine Abweichung dar.

Die Einbettung insbesondere der großen Reflexkörper in den Markierungsstoff war nach visueller Beurteilung teilweise deutlich kleiner als 60 %. Die Verteilung der Nachstreumittel war leicht inhomogen: An den Rändern der Markierung wurde eine höhere Dichte an Reflexkörpern festgestellt. Es wurde zudem festgestellt, dass das Nachstreuen der Striche der Leitlinie zu früh unterbrochen wurde, so dass die hinteren ca. 15 cm der Striche ohne Nachstreumittel appliziert wurden. Die Applikation wurde unterbrochen und die Einstellungen der Markiermaschine angepasst.

4.1.1 Zusammenfassung und Analyse

In der Tabelle 4-19 sind auszugswise die bei der Begleitung der Applikation festgestellten Abweichungen zusammengefasst.

Tabelle 4-19: Zusammenfassung der Abweichungen bei den Applikationen (ohne Probenahme Nr. 9)

Probenahme	Markierungsart, Material	übereinstimmende Stoffgruppe?	korrekte Bezeich- nung Markierungs- stoff?	richtige Bezeichnung des Nachstreu- mittels?	Materialmenge / Schichtdicke einge- halten?	Nachstreuittel- menge eingehalten?
1	Agglomerat, KP	✓	nein	nein	-	-
2	Agglomerat, KP	✓	✓	-	-	-
3a	Agglomerat, KP	✓	✓	nein	-	-
3b	Vollstrich, KP	✓	✓	nein	-	-
3c	Folie	✓	✓		✓	
4	Agglomerat, KP	✓	nein	nein	-	-
5	Vollstrich, HS-Farbe	✓	✓	nein	-	-
6	Agglomerat, KP	✓	nein	nein	✓	✓
7	Agglomerat, TP	✓	nein	nein	nein	✓
8	Agglomerat, KP	✓	-	-	✓	✓
10	Agglomerat, KP	✓	✓	nein	✓	nein
11	Vollstrich, KP	✓	-	✓	-	-
12	Vollstrich, TP	✓	-	✓	✓	nein
13	Folie	✓	✓		✓	
14	Agglomerat, TP	✓	✓	✓	✓	✓
15	Vollstrich, KSP	✓	✓	✓	✓	✓

„-“ = keine Aussage möglich

Die Applikation einer von der Ausschreibung abweichenden Stoffgruppe wurde in keinem Fall festgestellt. Bei Maßnahme neun wurde jedoch ein nicht BAST-geprüftes System auf einer Bundesautobahn appliziert. Vereinzelt wurden Unterschreitungen der erforderlichen Nachstreuittel- oder Materialmenge festgestellt. Nicht alle der festgestellten Abweichungen konnten vor der Applikation beseitigt werden, da in manchen Fällen z. B. andere Ritzel für die Markiermaschine fehlten. Bei für den Auftraggeber vertretbaren Abweichungen wurde nach Abstimmung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer die Applikation durchgeführt.

Vom BAST-Prüfzeugnis abweichende Produktbezeichnungen wurden vergleichsweise häufig, insbesondere bei den Nachstreuitteln festgestellt, wobei auch zusätzliche Buchstaben oder Wörter in der Produktbezeichnung als Abweichung gewertet wurden.

4.2 Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchung des Markierungsstoffs

4.2.1 Nicht vorgefertigte Markierungssysteme

In diesem Abschnitt sind für die untersuchten Markierungssysteme diejenigen Kenngrößen aufgeführt, die als nicht mustergleich bewertet wurden oder unter Angabe des Grundes (z. B. fehlendes Urmuster oder fehlende Toleranzen) für die keine Aussage zur Mustergleichheit getroffen werden konnte (s. Tab 4-20 und 4-21). Eine Probe gilt als nicht mustergleich bei Überschreitung der in EN 12802 enthaltenen Toleranzbereiche bei mindestens einem Merkmal (s. Abs. 3.5.3).

Tabelle 4-20: Übersicht der bei der Mustergleichheitsprüfung festgestellten Abweichungen

Nr.	Material	Kenngroße	Wert (Probe / Urmuster)	Abweichung (rel./abs.)	Toleranz	Anmerkung	Mustergleich?
01	KP	Dichte	-	k. A.	-	nicht bestimmt ¹⁾	ja
02	KP	Anteil TiO ₂	10,9 M.-% 9,3 M.-%	+ 17,2 % + 1,6 M.-%	< 10 % ± 1 M.-%		nein
03 A	KP	Dichte		k. A.	-	nicht bestimmt ¹⁾	ja
		Anteil Premixkörper		k. A.	-	nicht bestimmt ²⁾	
		Identifizierung der flüchtigen Bestandteile des Bindemittels		k. A.	-	nicht bestimmt ¹⁾	
03 B	KP	Anteil Bindemittel	23,5 M.-% 21,2 M.-%	+ 10,8 % + 2,3	10 % ± 2		nein
04	KP	Dichte	-	k. A.	-	nicht bestimmt ¹⁾	nein
		Anteil Bindemittel	21,8 M.-% 27,3 M.-%	- 20,1 % - 5,5 M.-%	10 % ± 2		
		Anteil Rückstand	78,2 M.-% 72,7 M.-%	- + 5,5 M.-%	- ± 3 M.-%		
		Anteil Premixkörper	-	k. A.	-	nicht bestimmt ²⁾	
05	HS-Farbe	Dichte	1,46 g/cm ³ 1,57 g/cm ³	- - 0,11 g/cm ³	- ± 0,04 g/m ³		nein
		Anteil Rückstand	55,9 M.-% 61,1 M.-%	- - 5,2 M.-%	- ± 3 M.-%		
		Identifizierung anorganischer Bestandteile	Talkum, TiO ₂	zusätzliche Stoffe	-		
		Lösemittelanteil	29,0 M.-% 24,7 M.-%	- + 4,3 M.-%	- ± 3 M.-%	29,0 M.-% > 25 M.-% (TL M 06)	
06	KP	Dichte		k. A.		nicht bestimmt ¹⁾	ja
		Anteil Premixkörper		k. A.		nicht bestimmt ²⁾	
		Identifizierung der flüchtigen Bestandteile des Bindemittels		k. A.		nicht bestimmt ¹⁾	

Tabelle 4-21: Fortsetzung von Tabelle 4-20

Nr.	Material	Kenngroße	Wert (Probe / Urmuster)	Abweichung (rel./abs.)	Toleranz	Anmerkung	Muster-gleich?
07	HP	Dichte		k. A.		nicht be- stimmt ¹⁾	nein
		Korrelation Binde- mittel	Probe: Koh- lenwassersto ffharz Urmuster: Polymerhar z (Pentalyn)	k. A.			
		Anteil Premix- körper	47,4 M.-% 57,3 M.-%	- - 9,9 M.-%	- ± 5,5 M.-%		
08	KP	Dichte	2,01 g/cm ³ 2,08 g/cm ³	- - 0,07 g/cm ³	- ± 0,06 g/cm ³		nein
		Anteil Premix- körper		k. A.		nicht be- stimmt ²⁾	
09	HS-Farbe	Einsatz eines nicht BAST-geprüften Systems					
10	KP	Dichte	2,00 g/cm ³ 2,08 g/cm ³	- - 0,08 g/cm ³	- ± 0,06 g/cm ³		nein
		Anteil Premix- körper	26,1 M.-% 32,3 M.-%	- - 6,2 M.-%	- ± 5,5 M.-%		
11	KP	-		-	-	-	ja
12	HP	Dichte		k. A.		nicht be- stimmt ¹⁾	nein
		Anteil TiO ₂	7,8 M.-% 13,6 M.-%	- 42,6 % - 5,8 M.-%	< 10 % ± 1 %		
		Erweichungspunkt nach Wilhelmi	95,9 °C 98,0 °C	- 2,1 % - 2,1 °C	-	Toleranzen existieren nicht	
14	KP	Dichte		k. A.		nicht be- stimmt ¹⁾	ja
		Identifizierung der flüchtigen Bestand- teile des Binde- mittels		k. A.		nicht be- stimmt ¹⁾	
15	KSP						ja

1) Kennwert wurde bei der Urmusterprüfung nicht bestimmt

2) Abweichende Prüfmethode bei der Urmuster- und der Mustergleichheitsprüfung

4.2.2 Vorgefertigte Markierungssysteme (Markierungsfolien)

Probenahme 03 C

Die auf der Folie aufgedruckte Prüfnummer entspricht dem bei der Ausschreibung eingereichten BAST-Prüfzeugnis.

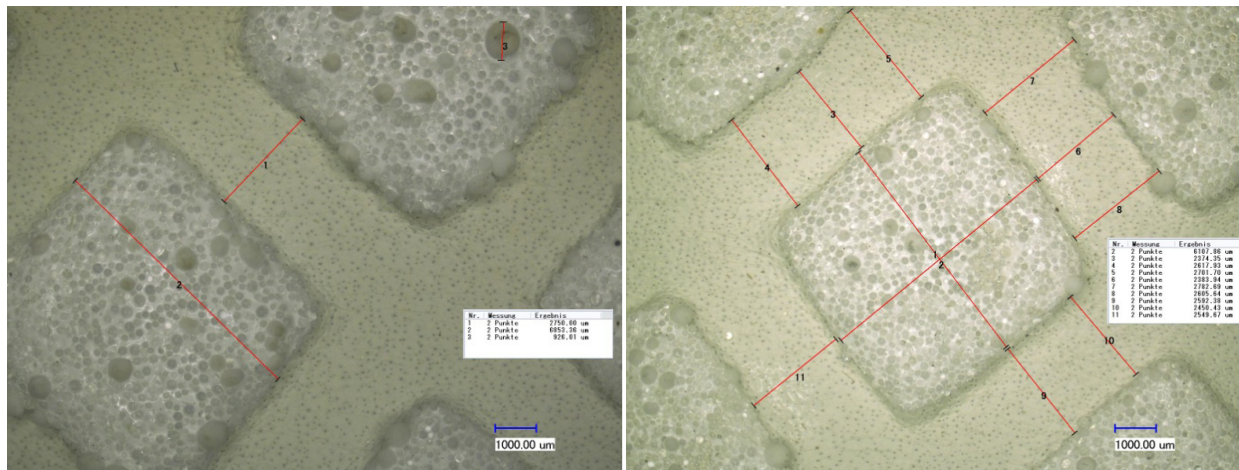


Abbildung 4-17: Mikroskopaufnahme und Vermessung des Urmusters (links) und der Probe (rechts) als Draufsicht bei 20facher Vergrößerung (exemplarisch) für Probenahme 03 C

Die Folie weist wie in Abbildung 4-17 dargestellt eine Oberflächenstruktur mit regelmäßigen quadratischen Erhebungen auf. Die Abbildung zeigt beispielhaft die für die Messung mit dem Digitalmikroskop ermittelten Längen. Die Untersuchung mit dem Mikroskop bei 20facher Vergrößerung ergab, dass bei dem Urmuster mit ca. 6,9 mm leicht größere Breiten der Erhebungen als bei der Probe (Mittelwert ca. 6,0 mm) vorliegen. Die Abstände zwischen den Erhebungen sind ebenfalls mit ca. 2,8 mm beim Urmuster und ca. 2,6 mm bei der Probe geringfügig geringer. Offensichtliche Unterschiede zwischen dem Urmuster und der Probe wurden nicht festgestellt.

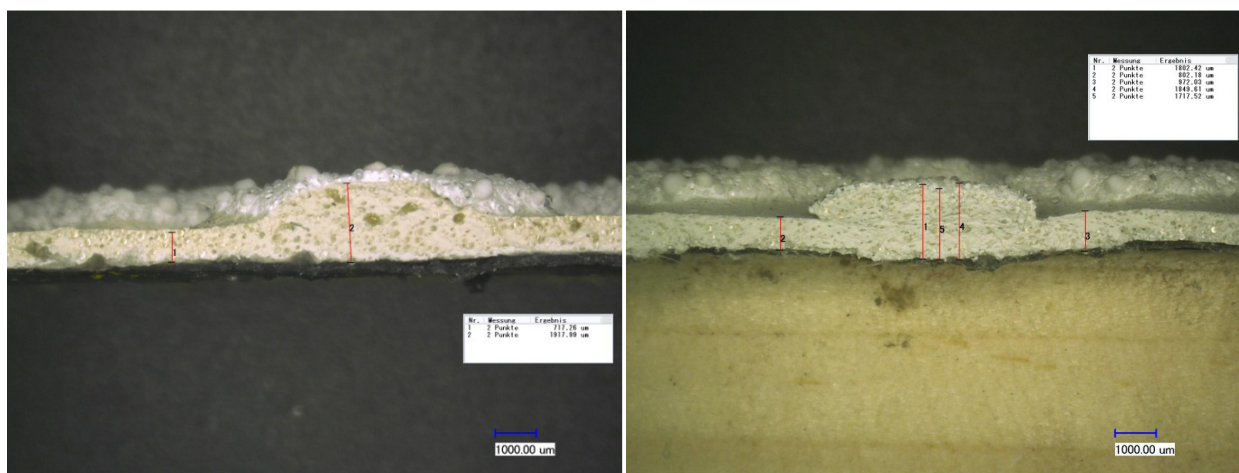


Abbildung 4-18: Mikroskopaufnahme und Vermessung des Urmusters (links) und der Probe (rechts) im Querschnitt bei 20facher Vergrößerung (exemplarisch) für Probenahme 03 C

Die Abbildung 4-18 zeigt exemplarisch die Mikroskopaufnahme der Folie im Querschnitt, die als Grundlage für die Messung der Schichtdicken (hier: ohne Reflexkörper und Griffmittel) diene. Der Vergleich der ermittelten Schichtdicken des Urmusters und der Probe im Bereich der Erhebung (1,9 mm / 1,8 mm) sowie zwischen den Erhebungen (0,7 mm / 0,9 mm) deutet auf keine signifikanten Unterschiede hin.

Toleranzbereiche für die Bewertung der Mustergleichheit hinsichtlich der Maße von Straßenmarkierungsfolien sind im nationalen Regelwerk und der europäischen Normung nicht enthalten.

Die untersuchte Folie wurde insgesamt als mustergleich gewertet.

Probenahme 13

Die bei der Probe aufgedruckte Prüfnummer stimmt mit dem ausgeschriebenen Markierungssystem überein. Die Abbildung 4-19 zeigt die durch eine „waffelförmige“ Textur charakterisierte Oberflächenstruktur mit regelmäßigen quadratischen Erhebungen. Die Abbildung zeigt zudem beispielhaft die für die Messung mit dem Digitalmikroskop ermittelten Längen. Abbildung 4-20 zeigt exemplarisch die Folie im Querschnitt bei 20facher Vergrößerung sowie die ermittelten Schichtdicken.

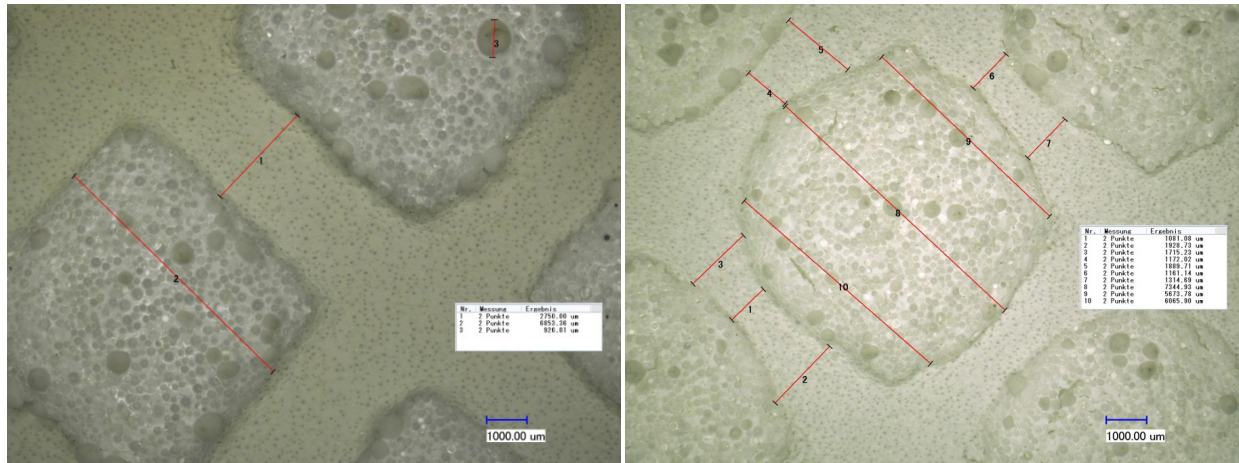


Abbildung 4-19: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links) und der Probe (rechts) als Draufsicht bei 20facher Vergrößerung für Probenahme 13

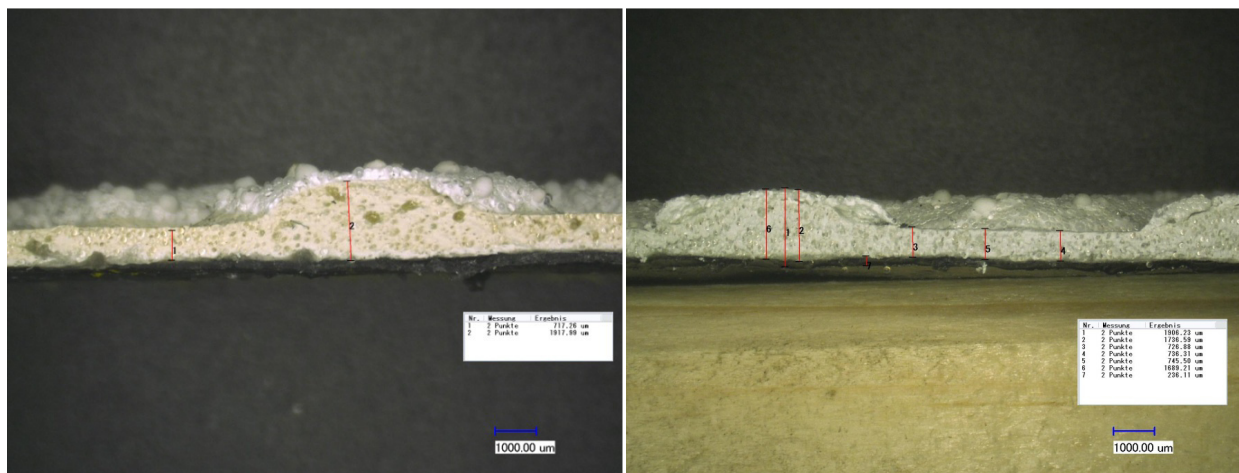


Abbildung 4-20: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links) und der Probe (rechts) im Querschnitt bei 20facher Vergrößerung für Probenahme 13

Die Untersuchung mit dem Mikroskop bei 20facher Vergrößerung zeigte bei der Probe eine im Vergleich zum Urmuster erkennbar undefiniertere Form der Erhebungen (s. Abb. 4-19, rechts). Die Messung mit dem Digitalmikroskop ergab entsprechend eine größere Spannweite bei der Breite der Erhebungen und Abstände (s. Abb. 4-20). Im Vergleich zum Urmuster (ca. 6,9 mm) liegt die Breite im Mittel bei ca. 7,0 mm, die Einzelwerte reichen dabei jedoch von maximal 5,7 bis 7,4 mm. Die Größe des Abstands zwischen den Erhebungen fällt bei der Probe geringer aus: Im Mittel lag dieser bei ca. 1,5 mm (Urmuster: 2,8 mm), mit einer Spannweite der Einzelwerte von 1,0 mm bis 2,2 mm. Die Schichtdicken der Probe lagen in guter Übereinstimmung mit dem Urmuster im Bereich der Erhebung

im Mittel bei ca. 1,8 mm und 0,7 mm im Bereich zwischen den Erhebungen (Urmuster: 1,9 mm und 0,7 mm).

Da wie zuvor beschrieben Toleranzbereiche für die bei der Urmusterprüfung erfassten Maße von Straßenmarkierungsfolien nicht existieren, wurde die untersuchte Folie insgesamt als mustergleich gewertet.

4.2.3 Zusammenfassung und Analyse

Die Ursachen für die Musterungleichheit sowie das Ergebnis der Mustergleichheitsprüfung für die untersuchten Proben sind in Tabelle 4-22 zusammengefasst.

Tabelle 4-22: Übersicht Ergebnisse der Mustergleichheitsprüfung des Markierungsstoffs

Probenahme Nr.	Material	zu wenig TiO2	zu viel TiO2	zu wenig Lösemittel	zu viel Lösemittel	zu wenig Bindemittel	zu viel Bindemittel	Dichte zu gering	Dichte zu hoch	Anteil Rückstand zu hoch	Anteil Rückstand zu gering	fehlende / zusätzliche Komponenten	zu geringer Premixanteil	zu hoher Premixanteil	mustergleich	musterungleich
1	KP														x	
2	KP	x														x
3a	KP														x	
3b	KP						x									x
3c	F														x	
4	KP					x				x						x
5	HS				x			x			x	x				x
6	KP														x	
7	TP												x			x
8	KP							x								x
9	HS	kein BAST-eignungsgeprüftes Markierungssystem														
10	KP							x					x			x
11	KP														x	
12	TP	x														x
13	F														x	
14	KP														x	
15	KSP														x	

KP = Kaltplastik, KSP = Kaltspritzplastik, TP = Thermoplastik, HS = HS-Farbe, F = Markierungsfolie

Bei den untersuchten Markierungsmaßnahmen wurde nicht festgestellt, dass eine andere als die vertraglich vereinbarte Stoffgruppe appliziert wurde. Bei einer der Applikationen wurde ein nicht BAST-geprüftes Markierungssystem eingesetzt; die genauen Ausschreibungsbedingungen konnten jedoch nicht in Erfahrung gebracht werden.

Von den insgesamt 16 Proben, für die eine Mustergleichheitsprüfung durchgeführt werden konnte, sind bei acht Markierungsstoffen bei mindestens einem Merkmal gegenüber dem Urmuster Abweichungen festgestellt worden, die zur Bewertung „nicht mustergleich“ führten. Fünf von zehn Kaltplastiken waren musterungleich, beide untersuchte Thermoplastiken sowie die HS-Farbe. Die zwei untersuchten Markierungsfolien sowie die Kaltspritzplastik waren mustergleich.

Bei acht von den insgesamt 16 Proben konnte keine Aussage zur Mustergleichheit für bestimmte Kennwerte getroffen werden, da beim zugehörigen Urmuster die Prüfung nicht oder mit abweichenden Verfahren als heute durchgeführt wurde oder Toleranzen nicht existieren.

Der Tabelle 4-23 kann der prozentuale Anteil der verschiedenen Abweichungen vom Urmuster an der Gesamtheit der bei den im Rahmen des Projektes festgestellten Abweichungen über alle Stoffgruppen entnommen werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Art der untersuchten Kenngröße vom Markierungsstoff abhängt. So wird beispielsweise der Anteil der Premix-Körper nur bei Thermo- und Kaltplastiken bestimmt; der Lösemittelanteil ist nur für HS-Farben relevant.

Tabelle 4-23: Anteil der festgestellten Abweichungen bei der Mustergleichheitsprüfung

Abweichung	Anteil [%]
Dichte zu gering	23,0
Dichte zu hoch	0,0
Anteil Bindemittel zu hoch	7,7
Anteil Bindemittel zu gering	7,7
Anteil Lösemittel zu hoch	7,7
Anteil Lösemittel zu gering	0,0
Anteil TiO ₂ zu hoch	0,0
Anteil TiO ₂ zu gering	15,4
Anteil Premixkörper zu hoch	0,0
Anteil Premixkörper zu gering	15,4
Anteil Glührückstand zu hoch	7,7
Anteil Glührückstand zu gering	7,7
fehlende / zusätzliche Komponente	7,7

Es zeigt sich, dass bei den untersuchten Proben eine zu geringe Dichte (23 %) die am häufigsten festgestellte Abweichung darstellt. Eine zu hohe Dichte wurde bei keiner der Proben festgestellt. Mit jeweils rund 15 % folgen zu geringe Anteile an Titandioxid, Unter- oder Überschreitungen beim Bindemittel-Anteil, Glührückstand-Anteil und Premix-Körper-Anteil. 7,7 % der Abweichungen stellen zu hohe Lösemittel-Anteile sowie stoffliche Unterschiede zum Urmuster dar.

Bezogen auf die einzelnen Stoffgruppen zeigt sich, dass bei den untersuchten **Kaltplastiken** eine zu geringe Dichte die Hauptursache (28,6 %) aller Abweichungen darstellt. Mit jeweils 14,3 % sind weitere Ursachen für negative Ergebnisse: Zu wenig Titandioxid, Unter- oder Überschreitung des Bindemittelanteils, zu hoher Anteil an Glührückstand und zu wenig Premix-Körper. Bei den untersuchten **Thermoplastiken** waren ein zu geringer Titandioxid-Anteil und ein zu geringer Premixkörper-Anteil ursächlich für das negative Ergebnis. Bei der Probe der **HS-Farbe** wurden mehrere Abweichungen festgestellt (Lösemittelanteil zu hoch, abweichende Stoffe, zu geringe Dichte, Glührückstand zu gering).

4.3 Auswertung der Mustergleichheitsprüfungen bei der BAST (2011-2015)

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Auswertung der bei der BAST in den Jahren 2011 bis 2015 durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen, die im Auftrag der Straßenbauverwaltung, etc., außerhalb dieser Untersuchungen durchgeführt wurden, zusammenfassend dargestellt.

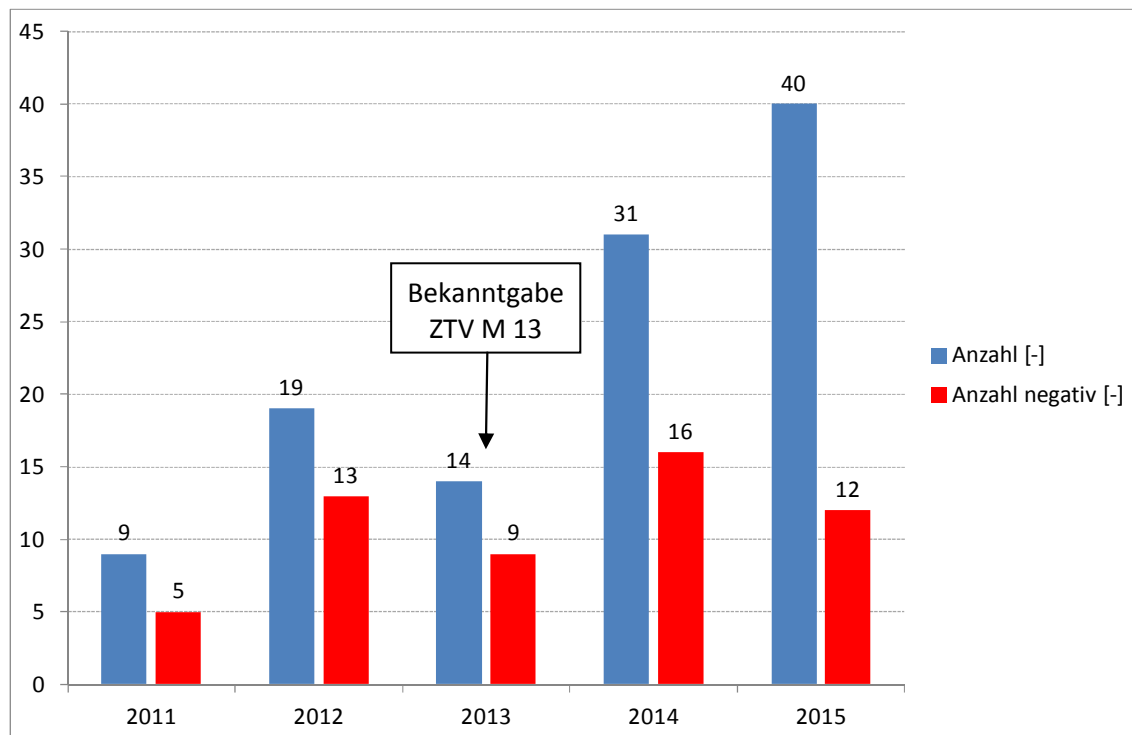


Abbildung 4-21: Anzahl der jährlich bei der BASt durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen und Anzahl der Prüfungen mit negativem Ergebnis in den Jahren 2011 bis 2015

Nach Abbildung 4-21 liegt die Anzahl der Mustergleichheitsprüfungen in den Jahren 2011 bis 2013 auf einem vergleichsweise geringen Niveau von unter 20 Prüfungen pro Jahr. Im Jahr 2014 nimmt die Zahl der Prüfungen zu und steigt im Jahr 2015 auf 40 Prüfungen an. Dagegen wird bei dem Anteil der Prüfungen mit negativem Ergebnis ein umgekehrter Trend ersichtlich: Von 2012 bis 2015 nimmt der Anteil der negativen Prüfungen kontinuierlich von 73 % auf 30 % ab. Im Mittel beträgt die Quote negativer Ergebnisse über den gesamten Zeitraum 54 %.

In der Abbildung 4-22 ist die Anzahl der Mustergleichheitsprüfungen (linke Säule) und der negativen Mustergleichheitsprüfungen (rechte Säule) in Abhängigkeit der Markierungsstoffart dargestellt. Dispersionen wurden von 2012 bis 2015 bei der BASt nicht geprüft und sind entsprechend nicht aufgeführt. Die Darstellung verdeutlicht, dass reaktive Stoffe die am häufigsten bei den betrachteten Mustergleichheitsprüfungen untersuchten Markierungsstoffe darstellen. So beträgt der Anteil der Kaltplastiken und Kaltspritzplastiken an den insgesamt geprüften Markierungen insgesamt ca. 70 bis zu maximal 90 %. Zudem kann der Abbildung entnommen werden, dass die Entwicklung der Anzahl der insgesamt durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen von 2012 bis 2015 (s. Abb. 4-21) auf die Zunahme der Prüfung von Kaltplastiken und Kaltspritzplastiken zurückzuführen ist (Ausnahme: Rückgang in 2013).

HS-Farben und Thermoplastiken wurden in deutlich geringerem Umfang überprüft; die Mustergleichheit von Markierungsfolien wurde nur im Jahr 2015 mit einer vergleichbar geringen Anzahl an Proben überprüft.

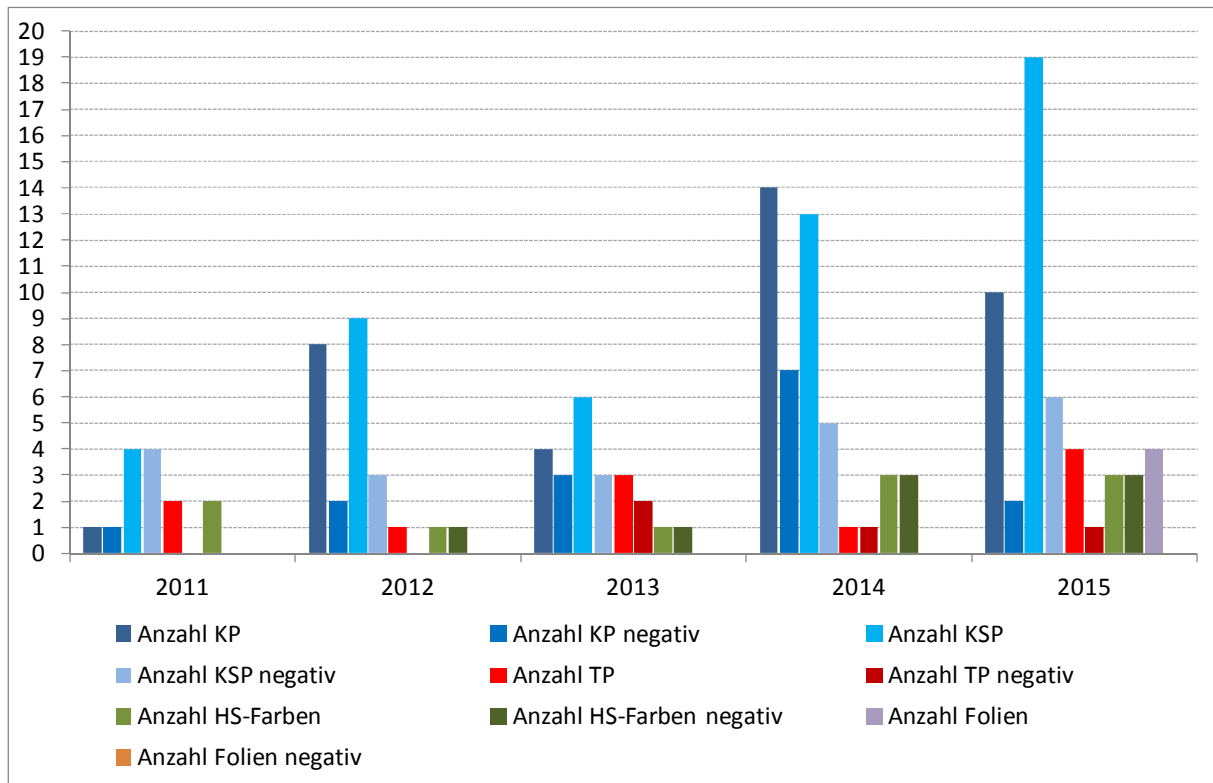


Abbildung 4-22: Anzahl der bei der BAST durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen (gesamt) und der negativen Mustergleichheitsprüfungen in Abhängigkeit von der Stoffart in den Jahren 2011 bis 2015 (KP = Kaltplastik, KSP = Kaltspritzplastik, TP = Thermoplastik)

Weiterhin zeigen die Zahlen, dass mit Ausnahme des Jahres 2011 der Anteil der musterungleichen Proben bei Kaltplastiken und Kaltspritzplastiken deutlich geringer ist als bei HS-Farben und Thermoplastiken. Im Durchschnitt über die Jahre 2012 bis 2015 beträgt der Anteil der musterungleichen Proben bei Kaltspritzplastiken 38 %, bei Kaltplastiken 43 %, bei Thermoplastiken 48 %, bei HS-Farben 100 % und bei Markierungsfolien 0 %, wobei in diesem Zeitraum wie bei HS-Farben und Markierungsfolien nur eine sehr geringe Anzahl an Proben untersucht wurde.

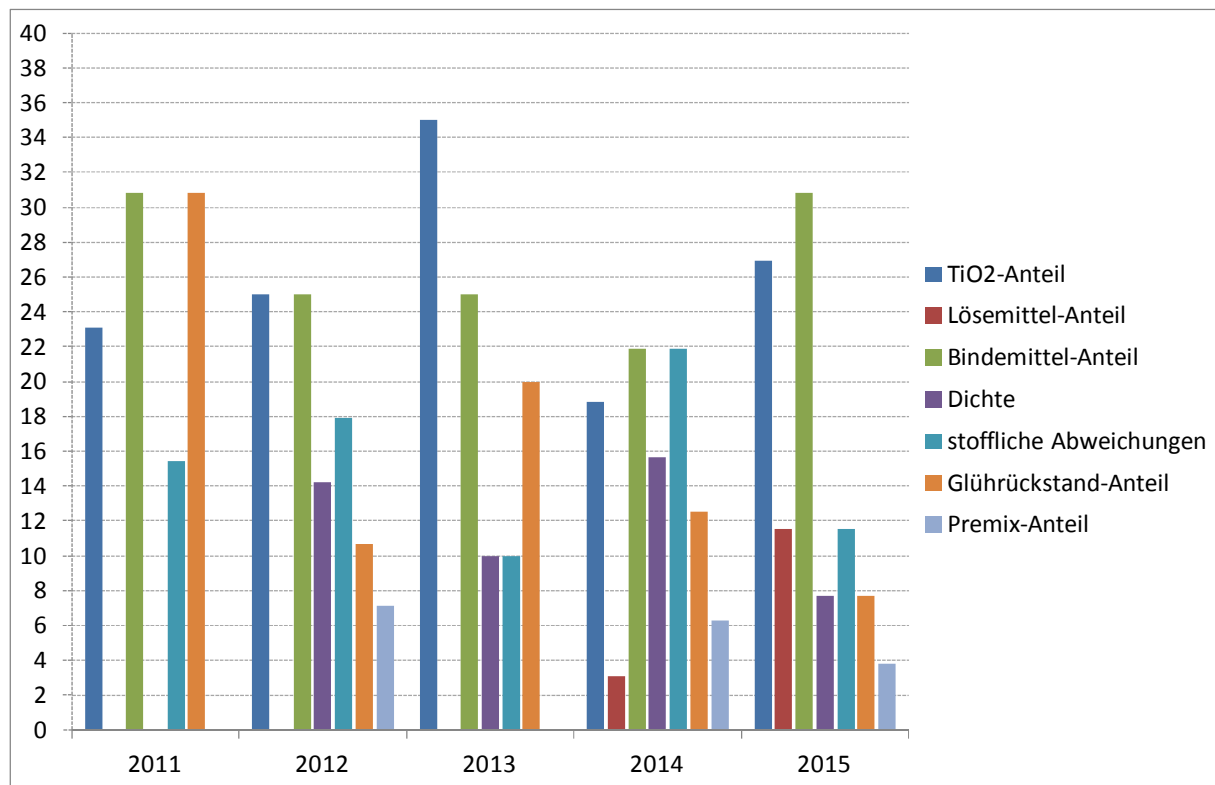


Abbildung 4-23: Anteil der Arten von Abweichungen in Prozent bei den bei der BASt durchgeführten Muster- gleichheitsprüfungen in den Jahren 2011 bis 2015

In der Abbildung 4-23 sind für die Jahre 2011 bis 2015 die für die Musterungleichheit ursächlichen Arten von Abweichungen dargestellt. Der Anteil in Prozent wurde aus der Anzahl der insgesamt festgestellten Abweichungen für eine Art von Abweichung im betrachteten Jahr sowie der Anzahl der insgesamt in diesem Jahr festgestellten Abweichungen berechnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einer Probe mehrere Abweichungen festgestellt werden können und nicht zwischen einer Unter- oder Überschreitung des Toleranzbereichs gemäß EN 12802 unterschieden wird. Wie bereits erläutert gilt auch hier zu beachten, dass nicht für alle Stoffarten alle Kenngrößen bestimmt werden.

Unter Vernachlässigung der eingeschränkten Vergleichbarkeit stellen Abweichungen beim Titan- dioxid-Anteil und beim Bindemittel-Anteil die deutlich am häufigsten auftretenden Ursachen für eine Musterungleichheit dar. Beide Ursachen sind innerhalb des betrachteten Zeitraums auf einem kon- stant hohen Niveau. Eine zeitliche Entwicklung zeichnet sich nicht aus den vorliegenden Daten ab. Weitere, weniger häufige Ursachen sind stoffliche Abweichungen, d. h. die Feststellung zusätzlicher oder fehlender Stoffe in der Probe, sowie Über- oder Unterschreitungen des Toleranzbereichs für die Dichte. Weniger dominierend sind Abweichungen beim Premix-Anteil (s. Hinweis oben) und beim Anteil des Glührückstands.

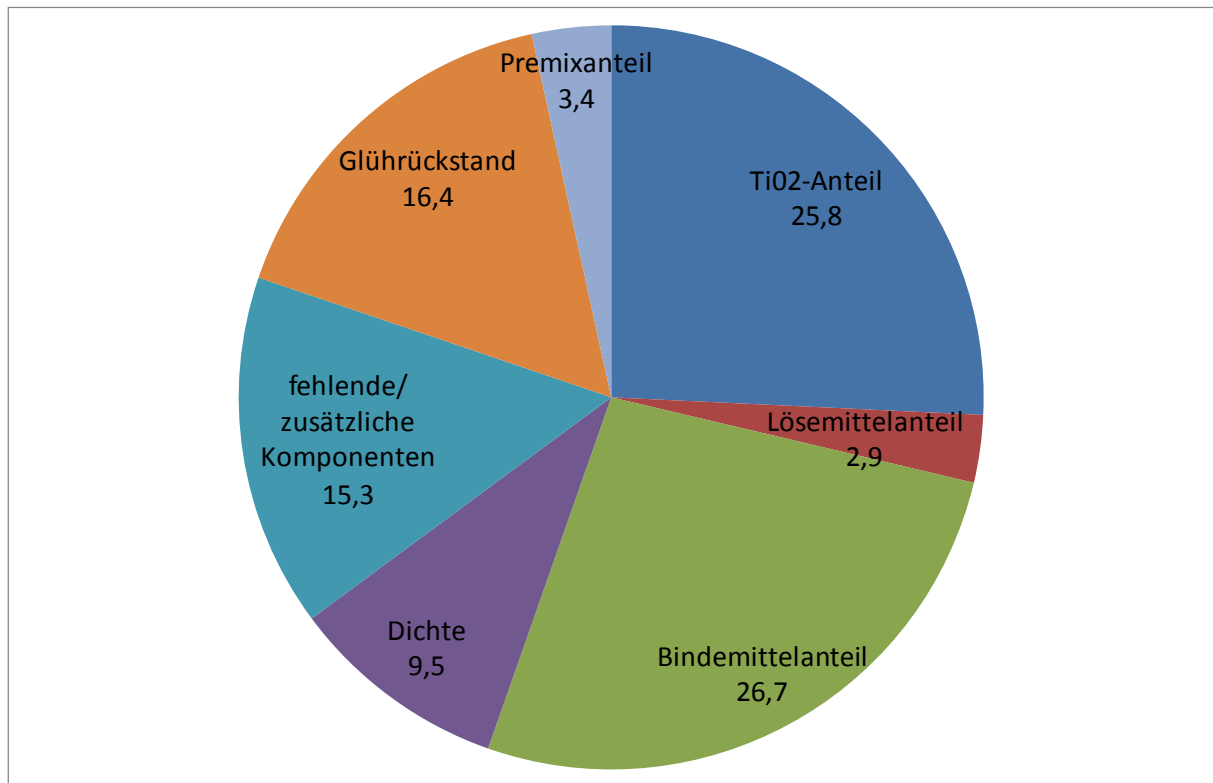


Abbildung 4-24: Anteil der Arten von Abweichungen in Prozent bei den bei der BAST durchgeführten Muster- gleichheitsprüfungen als Mittel aus den Jahren 2011 bis 2015

In der Abbildung 4-24 sind die Anteile der Arten von Abweichungen (%) ergänzend als Mittelwerte für den Zeitraum 2011 bis 2015 dargestellt.

4.4 Ergebnisse der Analyse der Nachstreumittel

Für jedes Nachstreumittel werden jeweils folgende Kenngrößen bzw. Anforderungen gegenübergestellt:

Mikroskopaufnahme des Urmusters	Mikroskopaufnahme der Probe
Partikelgrößenverteilung des Urmusters	Partikelgrößenverteilung der Probe (als kumulierter Durchgang je Durchmesser)
Partikelgrößenverteilung des Urmusters mit zugehörigem Toleranzbereich von $\pm 50\%$ rel. gemäß TP M (als nicht-kumulierter Rückstand je Durchmesser)	Partikelgrößenverteilung der Probe
Partikelgrößenverteilung des Urmusters und der Probe	kumulierter Rückstand $\geq 5\%$ auf dem Sieb unmittelbar unterhalb des oberen Nennsiebes gemäß TP M?
Partikelgrößenverteilung des Urmuster und der Probe	Toleranzbereich gemäß Produktspezifikation des Herstellers nach EN 1423 (in Abhängigkeit der Produktspezifikation als kumulierte Rückstände je Durchmesser oder kumuliertes Partikelvolumen je Durchmesser)?
Anteil der Griffigkeitsmittel gemäß BAST-Prüfzeugnis	Anteil der Griffigkeitsmittel der Probe

Eine vollständige Gegenüberstellung aller o. g. Merkmale ist jedoch aus den folgenden Gründen auf eine sehr geringe Anzahl an Proben beschränkt:

- Rückstellmuster von Nachstreumitteln aus der Urmusterprüfung und die zugehörigen Produktspezifikationen des Herstellers (insbesondere die Partikelgrößenverteilung gemäß EN 1423) wurden aufgrund der damals noch nicht verfügbaren Analyseverfahren erst etwa seit dem Jahr 2008 aufbewahrt.
- Die separate Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln bei Nachstreumittelgemischen aus diesen beiden Komponenten ist erst seit Kurzem mit dem digitalen videobasierten System und nur bei ausschließlich intransparenten Griffigkeitsmitteln möglich.
- Häufig wurde bei Urmustern aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmittel vom Hersteller nur die Produktspezifikation für die Reflexkörper eingereicht. Kann aus o. g. Gründen eine separate Bestimmung nicht vorgenommen werden, entfällt der Vergleich zwangsläufig.

Im Folgenden ist exemplarisch das Ergebnis der Analyse der bei der Maßnahme 07 entnommenen Nachstreumittel dargestellt.

Laut dem BAST-Prüfzeugnis von 2008 handelt es sich bei dem geprüften System um ein Nachstreumittel bestehend aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln aus Keramik im Verhältnis 5 : 1. Die Produktbezeichnung des vor Ort eingesetzten Nachstreumittels weicht laut Beschriftung des Gebindes bei identischem Hersteller vom maßgebenden BAST-Prüfzeugnis ab.

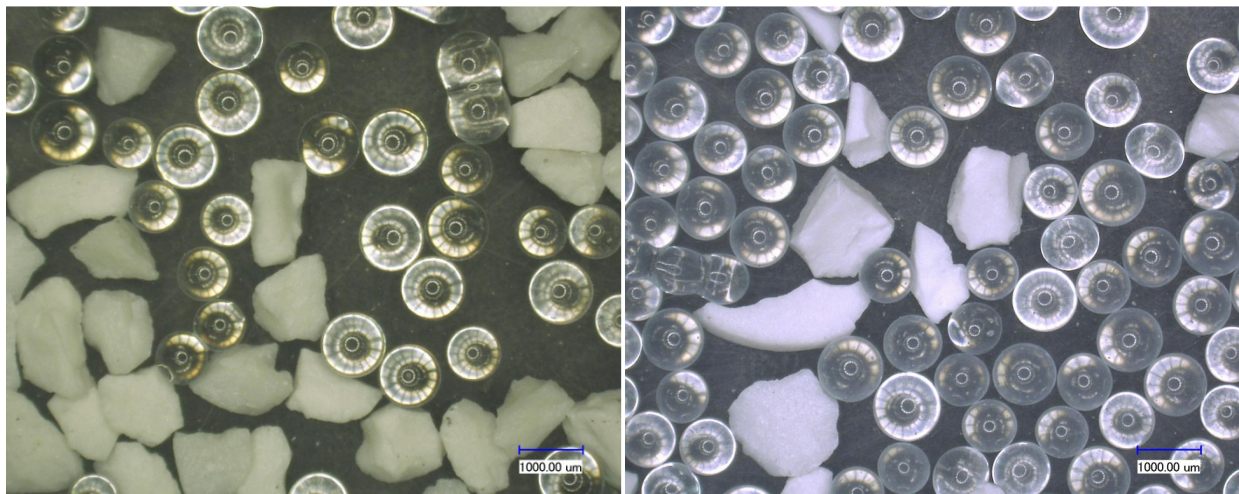


Abbildung 4-25: Urmuster zu 2014 (links) und Probe aus Schlauch, 30fache Vergrößerung (rechts) für Probenahme 07

Die Mikroskop-Aufnahme zeigt, dass die Probe intransparente, weiße Griffigkeitsmittel (vermutlich Keramik) und Reflexkörper enthält (s. Abb. 4-25). Das Urmuster des Nachstreumittels wurde nach der videobasierten Analyse versehentlich entsorgt. Behelfsweise wurde ein Nachstreumittel aus einer BAST-Eignungsprüfung im Jahr 2014 verwendet, das sich laut Bezeichnung nur durch die Beschichtung unterscheidet. Mikroskopaufnahmen vom Urmuster aus dem Jahr 2014 sind in der Abbildung 4-25 (links) dargestellt. Die Untersuchung ergab trotz abweichender Kennzeichnung des Gebindes keine Hinweise auf stoffliche Unterschiede zwischen der Probe und dem Urmuster.

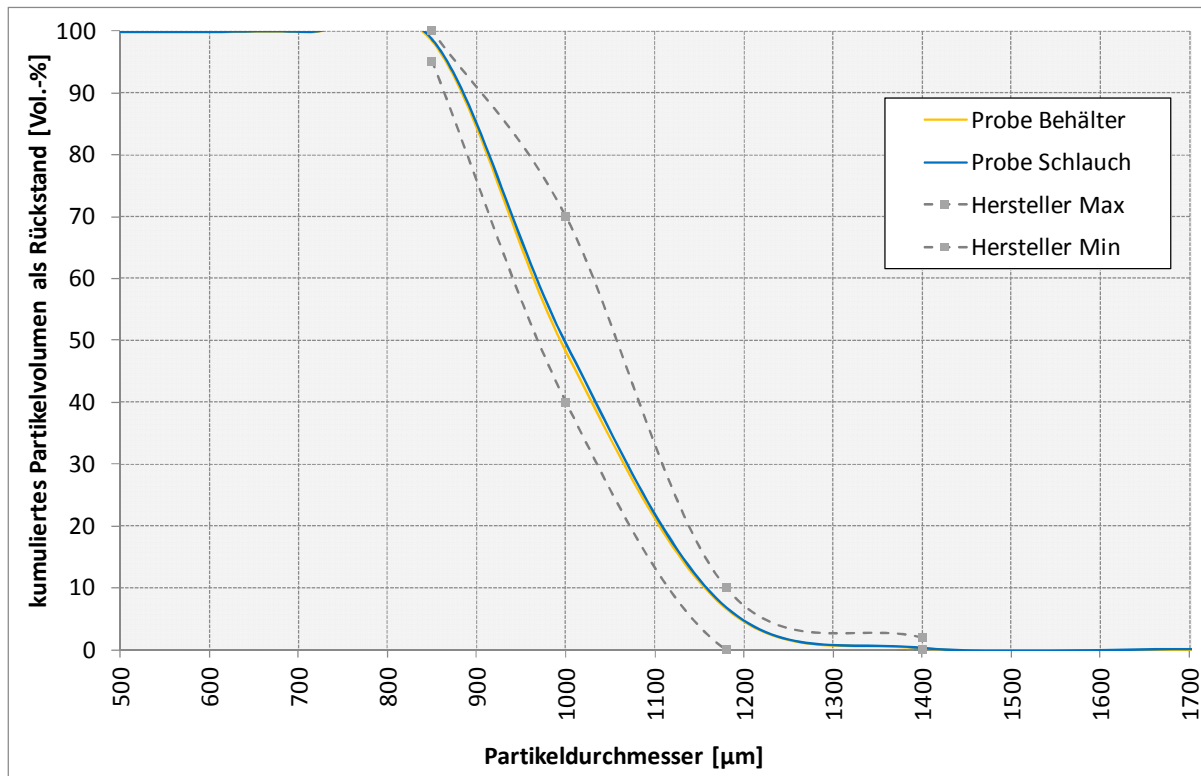


Abbildung 4-26: Kumuliertes Partikelvolumen der Proben (nur Reflexkörper) aus dem Schlauch (orange) und aus dem Behälter (blau) als Rückstand sowie Herstellertoleranzen für Probenahme 07

In der Abbildung 4-26 sind die Partikelgrößenverteilungen der Reflexkörper als kumulierter Rückstand dargestellt. Die Verteilungen der Proben aus dem Schlauch und dem Behälter weisen keine signifikanten Abweichungen auf und befinden sich innerhalb des Toleranzbereichs gemäß Produktspezifikation. Die Verteilung der Reflexkörper des Urmusters konnte nicht bestimmt werden.

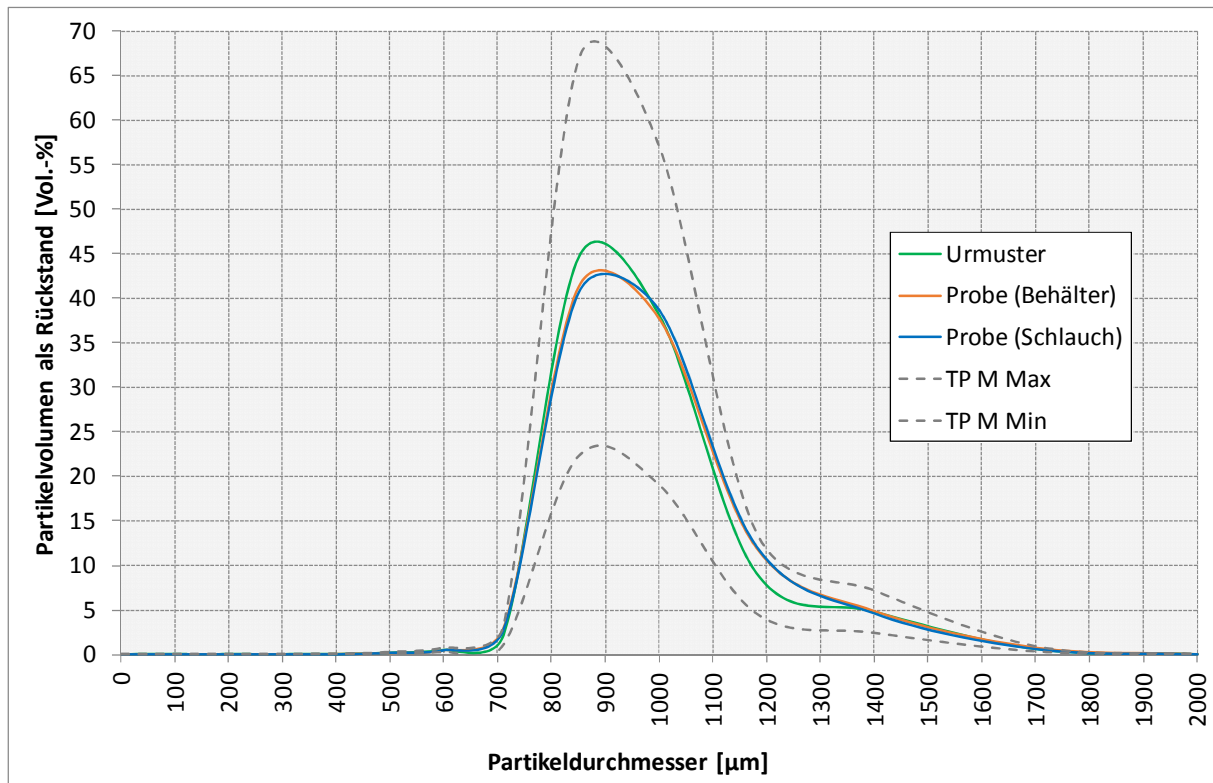


Abbildung 4-27: Rückstände je Partikeldurchmesser für das Urmuster (grün) und die Proben (blau, rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 07

Die ermittelten Partikelgrößenverteilungen weisen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung auf (s. Abb. 4-27). Unabhängig vom Entnahmeort (Schlauch, Vorratsbehälter) liegen die Proben für die vom Hersteller in der Spezifikation genannten Siebe (850, 1000, 1180 und 1400 μm) innerhalb des Toleranzbereichs gemäß TP M (s. Abb. 4-27).

Der Mindestrückstand auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes von 5 % gemäß TP M konnte nur bei den Proben überprüft werden. Hier ergaben sich keine Unterschreitungen (vorhandener Rückstand: 49,4 % und 48,2 %).

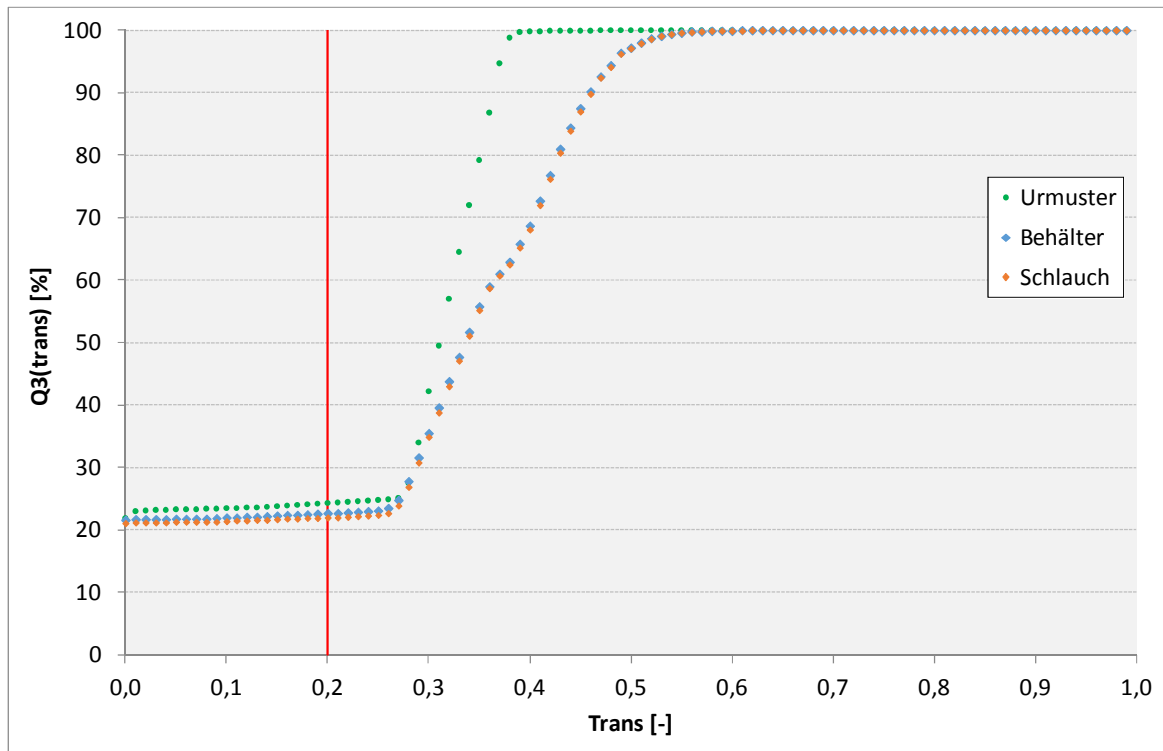


Abbildung 4-28: Anteil der Griffigkeitsmittel im Nachstreumittelgemisch für die Proben und das Urmuster für Probenahme 07

Wie Abbildung 4-28 zeigt, unterscheidet sich der Anteil an Griffigkeitsmitteln zwischen der Probe und dem Urmuster um etwa zwei Prozentpunkte: Bei der Probe wurde im Mittel (Schlauch/Behälter) ein Anteil von 22,4 %, bei dem Urmuster ein Anteil von 24,3 % festgestellt. Beide Anteile unterscheiden sich maßgeblich vom BAST-Prüfzeugnis, das ein Gemisch aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln im Verhältnis 5 : 1 (Anteil Griffigkeitsmittel = 16,7 %) fordert.

4.4.1 Zusammenfassung und Analyse

In der Tabelle 4-24 sind die Ergebnisse der Analyse der Nachstreumittel zusammengefasst.

Tabelle 4-24: Zusammenfassung der Ergebnisse der Analyse der Nachstreumittel

Maßnahme Nr.	Material	Urmuster vorhanden?	stoffliche Übereinstimmung (Probe/Urmuster)?	Verteilung innerhalb Toleranzbereich nach TP M?	kum. Rückstnad Reflexkörper $\geq 5\%$ auf Sieb unter Nennsieb? nach TP M?	EN 1423-konforme Beschreibung der PGV?	PGV übereinstimmend mit Produktspezifikation?	Mit PZ übereinstimmender Anteil an Griffigkeitsmitteln?	übereinstimmende Produktbezeichnung?
1	RK, GM	-	-	-	-	✓	-	nein*	nein
2	RK	✓	✓	nein	✓	nein	✓	-	-
3A	RK	(✓)	(✓)	(nein)	✓	✓	✓	-	nein
3B	RK, weiße und trans. GM	(✓)	(✓)	(nein)	-	nein	-	-	nein
4	RK	(✓)	(✓)	(nein)	✓	✓	✓	-	nein
5	RK, weiße GM	nein	nein	-	✓	✓	✓	nein ($\Delta = 4\%$)	nein
6	RK	(✓)	(✓)	(nein)	✓	✓	✓	-	nein
7	RK, weiße GM	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	nein ($\Delta = 8\%$)	nein
8	RK	✓	✓	nein	✓	nein	✓	-	-
9	RK	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	-	-
10	RK	✓	✓	nein	✓	nein	✓	-	nein
11	RK, weiße und trans. GM	✓	✓	nein	-	✓	-	-	✓
12	RK, weiße und trans. GM	✓	✓	nein	-	✓	-	-	✓
14	RK, trans. GM	nein	-	-	-	✓	-	-	✓
15	RK, weiße und trans. GM	✓	✓	nein	-	✓	-	-	✓

GM = Griffigkeitsmittel, PZ = BASt-Prüfzeugnis, PGV = Partikelgrößenverteilung, RK = Reflexkörper

„-“ = keine Aussage möglich, *gemäß Kennzeichnung des Gebindes

Anmerkung: Das in der Spalte „Urmuster vorhanden“ verwendete Kürzel (✓) bedeutet, dass das Urmuster des Nachstreumittels nicht vorlag. Um auch hier die gleichen Auswertungen vornehmen zu können, wurde behelfsweise ein Urmuster mit identischer Produktbezeichnung aus anderen bei der BASt durchgeführten Eignungsprüfung herangezogen. Trotz identischer Produktbezeichnung können abweichende Produkteigenschaften nicht ausgeschlossen werden. Daher sind die in den folgenden zwei Spalten aufgeführten Ergebnisse in diesen Fällen ebenfalls in Klammern angegeben.

Von den insgesamt 14 untersuchten Nachstreumittel-Proben lagen neun der zugehörigen Partikelgrößenverteilungen außerhalb und drei innerhalb des Toleranzbereichs gemäß den TP M. Bei zwei Nachstreumitteln war keine Aussage zur Übereinstimmung möglich.

Auf dem nächst kleineren Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes wurden von insgesamt 14 Nachstreumittel-Proben bei neun keine Unterschreitungen des nach den TP M geforderten Mindestwertes für den kumulierten Rückstand an Reflexkörpern von 5 % festgestellt. Bei den restlichen fünf Proben konnte keine Aussage getroffen werden, da mehrheitlich aufgrund transparenter Griffigkeitsmittel die Partikelgrößenverteilung der Reflexkörper bei diesen Proben nicht bestimmt werden konnte.

Ein Abgleich mit der in der Produktspezifikation genannten Partikelgrößenverteilung war bei neun Proben möglich. Dabei wurde bei keiner der Proben eine Abweichung von dem in der Produktspezifikation aufgeführten Toleranzbereich festgestellt.

Bei vier von 15 Proben wurde festgestellt, dass die in der Produktspezifikation aufgeführte Beschreibung der Partikelgrößenverteilung nicht konform zu EN 1423 ist.

Der Anteil an Griffigkeitsmitteln bei Gemischen aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln konnte bei lediglich zwei von sieben Proben bestimmt werden. Dabei wurden in beiden Fällen signifikante Abweichungen von den Vorgaben des BAST-Prüfzeugnisses festgestellt. Bei einer Maßnahme konnte keine Probe entnommen werden. Die Beschriftung des Gebindes ließ jedoch auf einen BAST-Prüfzeugnis abweichenden Anteil an Griffigkeitsmitteln schließen.

Bei sieben von insgesamt zwölf Nachstreumitteln mit untersuchter Gebinde-Kennzeichnung wurden vom BAST-Prüfzeugnis abweichende Produktbezeichnungen festgestellt.

Bei einem Nachstreumittelgemisch wurde anstelle des Griffigkeitsmittels Korund ein nicht transparentes Griffigkeitsmittel eingesetzt.

Die vollständigen Ergebnisse der weiteren Untersuchungen sind im Anhang, Teil B, aufgeführt.

4.5 Ergebnisse der Messungen in situ

4.5.1 Ergebnisse

Von den insgesamt 8 mustergleich applizierten Markierungssystemen wurden bei den Maßnahmen 1 und 14 Messungen im Gebrauchszustand durchgeführt. Zwei Markierungen waren vor Ablauf der Gewährleistung nicht mehr vorhanden (Tagebau), bei zwei Markierungen lag das Ende des Gewährleistungszeitraums nach dem Ende des Projektes. Bei einer Maßnahme konnte die Verkehrssicherung nicht gestellt werden. Abweichend vom Untersuchungskonzept wurde bei Markierung 7 gemessen, die aufgrund eines zu geringen Premixkörper-Anteils als mustergleich bewertet wurde.

Probenahme 01

Die Messung konnte erst nach Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche durchgeführt werden. Sie erfolgte im August 2013 etwa drei Jahre und vier Monate nach der Applikation auf der Leitlinie (s. Abb. 4-29).

Gemäß Dauerzählstelle der BAST betrug der DTV im Jahr 2013 31.562 Kfz/24 h (SV-Anteil: 10,9 %).



Abbildung 4-29: Messung auf der Leitlinie bei Maßnahme 01

Die Abbildung 4-30 zeigt eine beispielhafte Gegenüberstellung der Agglomeratmarkierung aus Kaltplastik unmittelbar nach der Applikation und zum Zeitpunkt der Messung. Die Fotos wurden an unterschiedlichen Standorten aufgenommen.



Abbildung 4-30: Vorher-Nachher-Vergleich Maßnahme 1 (verschiedene Standorte)

Die oberen Bereiche der Agglomeratmarkierung im Gebrauchszustand waren stark verschlissen oder vollständig abgetragen. Die Reflexkörper in den oberen Bereichen waren entsprechend beschädigt oder nicht mehr vorhanden. In den vor mechanischem Verschleiß weitgehend geschützten tieferen Bereichen war keine Beschädigung der Reflexkörper erkennbar. Die Restfläche konnte aufgrund des fehlenden Kontrasts zwischen Grundstrich und Agglomeratmarkierung nicht bestimmt werden.

Die Messung des Leuchtdichtekoeffizienten R_L und Q_D erfolgte auf der Leitlinie ($b = 15 \text{ cm}$, $l = 6,00 \text{ m}$). Die Messwerte von $R_{L, \text{trocken}}$ ($181 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) und Q_D ($147 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) als arithmetisches Mittel aus zehn Einzelmessungen erfüllen trotz deutlicher Überschreitung der Gewährleistungszeitraums die Anforderungen der ZTV M 02. Die für $R_{L, \text{feucht}}$ ermittelten Werte erfüllten die Anforderungen der ZTV M 02 mit $22 < 35 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ nicht. Eine Verschmutzung des Agglomerates konnte als Ursache für die geringen Werte von $R_{L, \text{feucht}}$ durch eine Vergleichsmessungen vor und nach Reinigung ausgeschlossen werden. Der festgestellte Verschleiß der Struktur der Agglomeratmarkierung wird als ursächlich für die Unterschreitungen angesehen.

Bei der Eignungsprüfung auf der Rundlaufprüfanlage hat das applizierte System die Anforderungen der ZTV M 02 bis Verkehrsklasse P7 (4 Mio. Überrollungen) erfüllt. Die Werte von $R_{L, \text{trocken}}$ und Q_D der Markierung im Neuzustand auf der RPA (s. Abb. 4-31) und der vor Ort auf einem Prüfblech applizierten Markierung ($R_{L, \text{trocken}}$: 229, Q_D : $220 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) weisen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung auf. Nach einer Liegedauer von mehr als drei Jahren wurden vor Ort Werte von $R_{L, \text{trocken}} = 181$, $R_{L, \text{feucht}} = 22$ und $Q_D = 147 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ gemessen. Nach 4 Mio. Überrollungen auf der RPA wurden höhere Werte von $R_{L, \text{trocken}} = 384$, $R_{L, \text{feucht}} = 105$ und $Q_D = 263 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ermittelt.

Probenahme 07

Die Messung erfolgte im August 2014, d. h. etwa einen Monat nach Ablauf des Gewährleistungszeitraums. Eine Dauerzählstelle der BAST war auf dieser Straße nicht vorhanden.



Abbildung 4-31: Messung auf der rechten Fahrbahnbegrenzung am Messpunkt 1 (links) und auf der Fahrstreifenbegrenzung am Messpunkt 2 (rechts)

Die Messung umfasste zwei Punkte mit unterschiedlich starker Beanspruchung der Markierung (s. Abb. 4-31):

Bei Punkt 1 wurde auf der durchgehenden Markierung als Fahrbahnbegrenzung des Rechtsabbiegestreifens gemessen. Die Verkehrsbelastung der Markierung an Messpunkt 1 ist vergleichsweise

gering (Gruppe A gemäß ZTV M 13). Zudem handelt es sich um den Rechtsabbiegestreifen, der im Vergleich zu den Hauptfahrstreifen ein geringeres Verkehrsaufkommen aufweist.

Bei Messpunkt 2 erfolgte die Messung auf der durchgehenden Mittelmarkierung zur Begrenzung der benachbarten Fahrstreifen des entgegen gerichteten Verkehrs. Aufgrund des einsetzenden Niederschlags und der Gefährdung des Messpersonals musste die Untersuchung an Punkt 2 nach wenigen Messungen abgebrochen werden. Im Vergleich zu Messpunkt 1 ist die Markierung an Messpunkt 2 einer höheren Verkehrsbelastung ausgesetzt. Fahrstreifenbegrenzungen gelten laut ZTV M 13 als stark beanspruchte Markierungen (Gruppe B). Im Hinblick auf die angrenzende Kurve ist ein häufiges (regelwidriges) Überfahren der Markierung zu erwarten.

An beiden Messpunkten wurde die Agglomeratmarkierung aus Thermoplastik appliziert, bei deren Applikation Proben entnommen wurden.

In Abbildung 4-32 sind beispielhaft Fotos der tropfenförmigen Agglomeratmarkierung zum Zeitpunkt unmittelbar nach der Applikation (links) und bei der Messung nach ca. 2 Jahren dargestellt.

Die Aufnahmen zeigen, dass durch die Verkehrsbelastung am Messpunkt 1 ein maßgeblicher Teil der nachgestreuten Reflexkörper und Griffigkeitsmittel herausgelöst wurde. Die Verkehrsbelastung war bei der Markierung jedoch scheinbar nicht stark genug, um die eingemischten Premix-Mittel freizufahren (s. auch Abb. 4-34 links). Ein flächiger Verschleiß im Sinne einer Reduzierung der von der Markierung bei senkrechter Betrachtung bedeckten Fläche wurde nicht festgestellt.

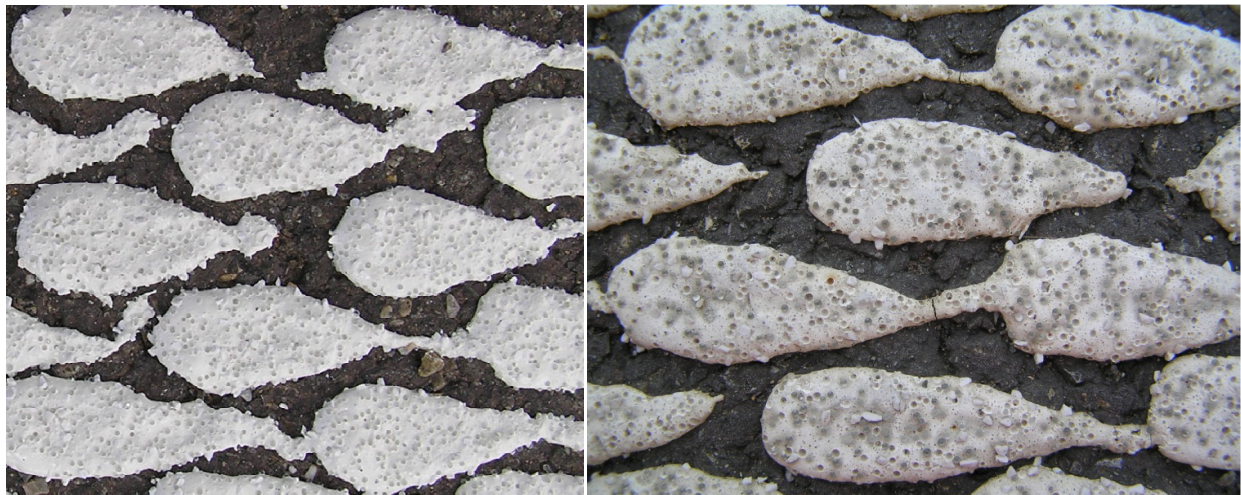


Abbildung 4-32: Aufnahme der Agglomeratmarkierung an Messpunkt 1 - vorher/nachher-Vergleich

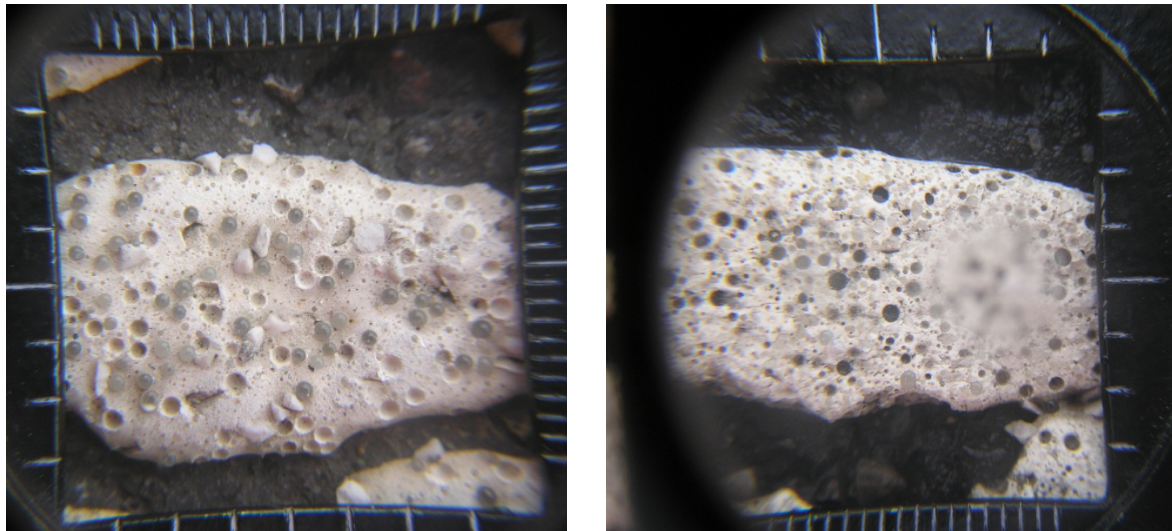


Abbildung 4-33: Nahaufnahme der Agglomeratmarkierung an den Messpunkten 1 (links) und 2 (rechts)

Am Messpunkt 2 sind aufgrund der im Vergleich zu Messpunkt 1 höheren Verkehrsbelastung die nachgestreuten Reflektkörper und Griffigkeitsmittel nicht mehr vorhanden und die Markierung ist an der Oberseite leicht abgetragen worden (s. Abb. 4-33 (rechts) und Abb. 4-34). Die Fotos zeigen viele „Krater“ mit dunklen Ablagerungen, die durch das Herauslösen von Reflektkörpern entstanden sind. Es war nicht eindeutig zu erkennen, ob die Premix-Körper im thermoplastischen Material bereits ausreichend freigefahren wurden.

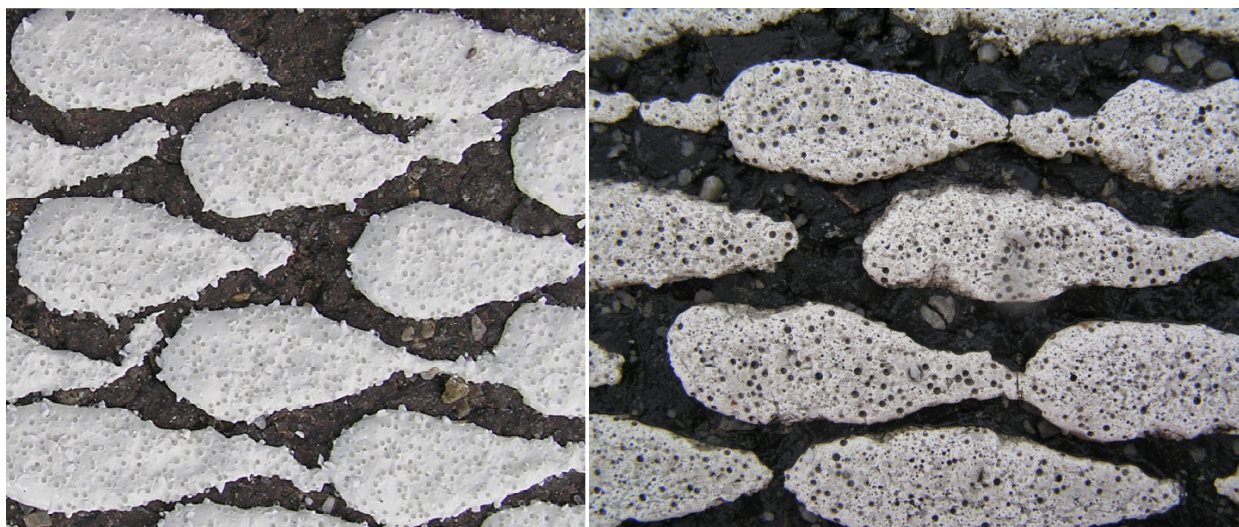


Abbildung 4-34: Aufnahme der Agglomeratmarkierung an Messpunkt 2 - vorher/nachher-Vergleich

Am Punkt 1 wurden entsprechend der geringen Abnutzung vergleichsweise hohe Werte für die Leuchtdichtekoeffizienten R_L und Q_D gemessen. Die Werte $R_{L, trocken} = 278$, $R_{L, feucht} = 96$ und $Q_D = 135 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ erfüllen die Anforderungen gemäß ZTV M 02.

Im stärker belasteten Bereich am Messpunkt 2 wurde bei stichprobenartigen Messungen erwartungsgemäß ein geringeres Retroreflexionsvermögen festgestellt. Die Werte für $R_{L, trocken}$ und Q_D betragen 128 und $152 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Es ist unklar, ob ein unzureichendes Freifahren der Premix-Körper ursächlich für die geringe Retroreflexion ist.

Die im Neuzustand bei der Applikation ermittelten Werte ($R_L = 335$, $Q_D = 218 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) zeigen, dass sich die Markierungen hinsichtlich der Tages- und Nachtsichtbarkeit auf einem vergleichbaren Niveau wie bei der Eignungsprüfung im Neuzustand befinden.

Bei der Eignungsprüfung erfüllte das Agglomerat die Anforderungen der ZTV M 13 bis zur Verkehrsklasse P6 (2 Mio. Überrollungen). Nach 2 Mio. Überrollungen wurden Werte für $R_{L, \text{trocken}}$, $R_{L, \text{nass}}$ und Q_D von 275, 92 und $159 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ festgestellt. Damit besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den am schwach belasteten Messpunkt 1 und den nach 2 Mio. Überrollungen auf der Rundlaufprüfanlage ermittelten Werten, wogegen die am stärker belasteten Messpunkt 2 ermittelten Werte von $R_{L, \text{trocken}}$ und Q_D deutlich geringer sind als die bei der Eignungsprüfung ermittelten Werte nach 2 Mio. Überrollungen. Bei der Eignungsprüfung wurde nach Fortführung der Belastung bei 3 und 4 Mio. Überrollungen ein maßgeblicher flächiger Verschleiß (Restfläche: 62 % und 40 %) festgestellt, einhergehend mit einem signifikanten Rückgang der Sichtbarkeit. Dagegen wurde bei Messpunkt 2 trotz geringer Werte von R_L und Q_D kein flächiger Verschleiß festgestellt.

Probenahme 14

Die Messung erfolgte etwa zwei Monate nach Ablauf des Gewährleistungszeitraums im Dezember 2015. Es wurde die als Fahrstreifenbegrenzung dienende Doppellinie auf einem ca. 100 m langen Abschnitt (s. Abb. 4-35) gemessen, wobei die jeweiligen Linien separat betrachtet wurden.

Laut Auswertung der Dauerzählstelle der BASt beträgt der DTV-Kfz im Jahr 2014 in beide Fahrtrichtungen ca. 9.500 Kfz/24 h bei einem SV-Anteil von etwa 9 %. Da sich der Verkehr in der Fahrtrichtung mit zwei Fahrstreifen auf beide Fahrstreifen verteilen kann und die Markierung an den linken Streifen für überholende Fahrzeuge angrenzt, ist davon auszugehen, dass die Belastung der Markierung in dieser Richtung geringer ist als in der anderen Richtung.

Die Markierung der Doppellinie, die an die zwei Fahrstreifen angrenzt, wird im Folgenden als „Linie 1“ bezeichnet, die an den einen Fahrstreifen angrenzende Markierung „Linie 2“.



Abbildung 4-35: Messung auf der Doppellinie bei Maßnahme 14 im Dezember 2012

Abbildung 4-36 zeigt beispielhaft für Linie 1 Fotos der Agglomeratmarkierung aus Thermoplastik, die unmittelbar nach der Applikation und zum Zeitpunkt der Messung angefertigt wurden.

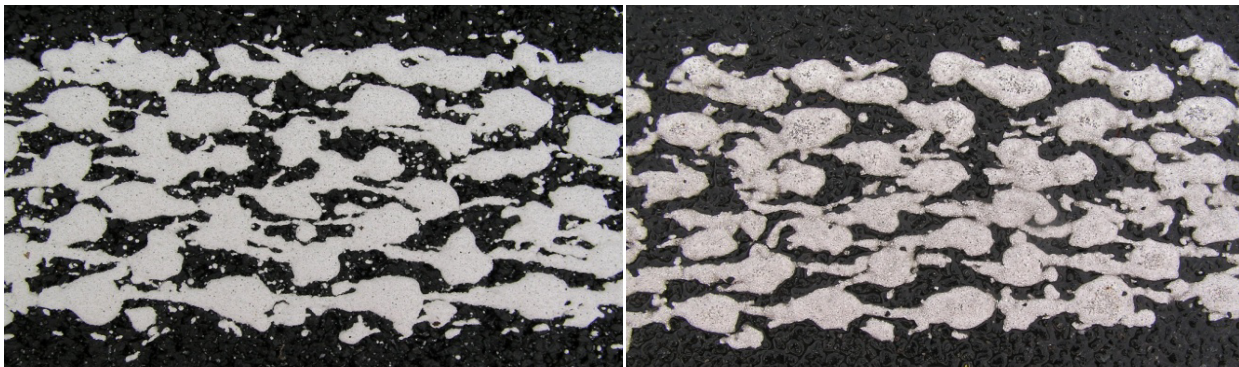


Abbildung 4-36: beispielhafte Aufnahmen der Agglomeratmarkierung unmittelbar nach Applikation (links) und nach Belastung bei Linie 1 (rechts)

Die Untersuchung mit der Lupe ergab, dass bei Linie 1 die Agglomeratmarkierung nur geringfügig verschlissen wurde (s. Abb. 4-37, links). Die Reflexkörper und transparenten Griffigkeitsmittel sind weitgehend erhalten geblieben bzw. nur vereinzelt herausgelöst worden. Die Struktur war mehrheitlich vollständig erhalten, ein auf die Restfläche bezogener Verschleiß war nicht feststellbar.

Die Messung des Leuchtdichtekoeffizienten bei Retroreflexion ergab Werte von im Mittel $R_L = 153 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ und $R_{L, \text{feucht}} = 43 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, womit trotz leichter Überschreitung des Gewährleistungszeitraums die Anforderungen der ZTV M 02 erfüllt sind. Der Leuchtdichtekoeffizient bei diffuser Beleuchtung Q_D wurde zunächst unterschritten. Nach Reinigung der Markierung wurden die Anforderungen der ZTV M 02 erfüllt.

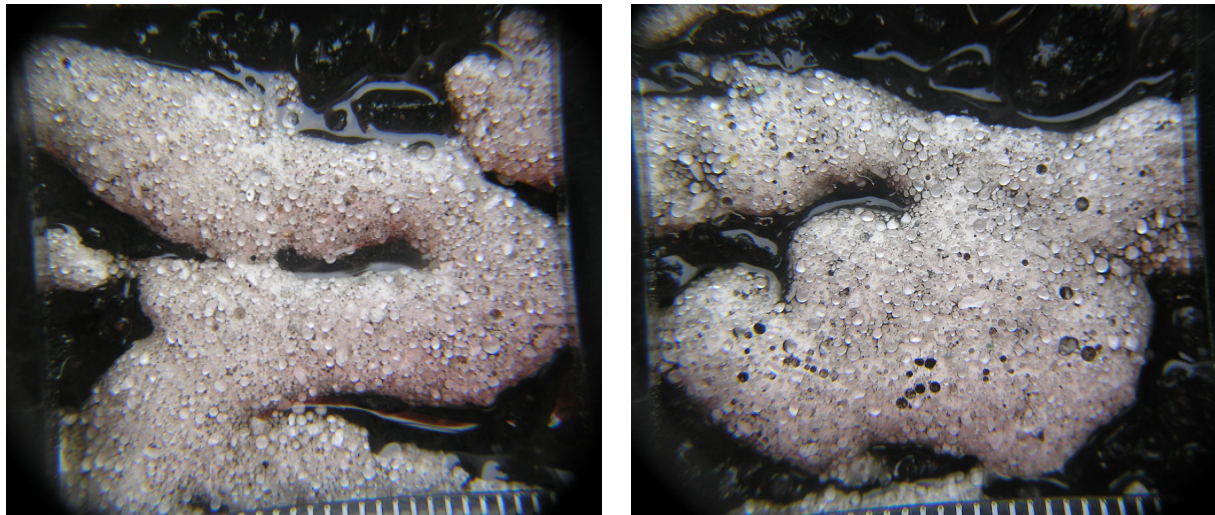


Abbildung 4-37: Nahaufnahme Agglomerat bei Linie 1 (links) und Linie 2 (rechts)

Bei Linie 2 wurde eine stärkere Beanspruchung der Markierung festgestellt (s. Abb. 4-38). Das mit Hilfe der Lupe aufgenommene Foto (Abb. 4-37, rechts) zeigt exemplarisch, dass bei Linie 2 mehr Nachstreumittel von der Oberfläche gelöst wurden. Zudem waren teilweise die oberen etwa 5 bis 10 % der Struktur des Agglomerates nicht mehr vorhanden. Ein flächiger Verschleiß wurde nicht festgestellt.

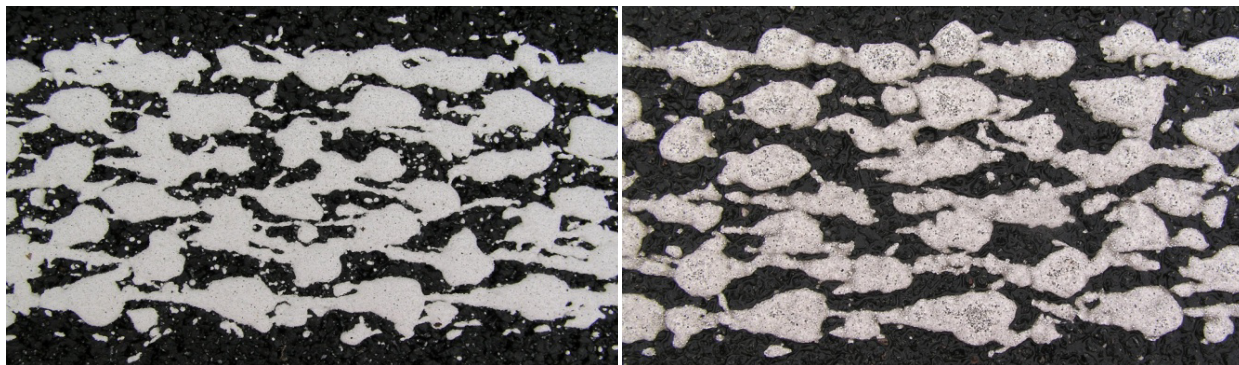


Abbildung 4-38: unmittelbar nach Applikation (links) und nach Belastung bei Linie 2 (rechts)

Die Messung auf Linie 2 ließen entsprechend auf ein geringeres Retroreflexionsvermögen als bei Linie 1 schließen: Nach Reinigung der Markierung ergaben sich Werte von im Mittel $Q_D = 133$ und $R_{L,feucht} = 35 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ oberhalb der Anforderungen der ZTV M 02. $R_{L,trocken}$ lag mit $117 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ unterhalb des Grenzwertes von $150 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$.

Werden die vor Ort kurz nach Ablauf der Gewährleistungsfrist ermittelten Werte mit den Ergebnissen der Eignungsprüfung gegenübergestellt, zeigt sich, dass sich die Werte für $R_{L,trocken}$, $R_{L,feucht}$ und Q_D insgesamt bei der Rundlaufprüfung auf einem höheren Niveau als bei Linie 1 und 2 (s. o.) in situ befinden. Nach 4 Mio. Überrollungen wurden auf der RPA Messwerte für $R_{L,trocken}$, $R_{L,feucht}$ und Q_D von 319, 89 und 247 $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ermittelt. Die Werte im Neuzustand (0 Überrollungen) befinden sich etwa auf einem Niveau mit den am Prüfblech ($R_L = 226$, $Q_D = 217 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) ermittelten Werten.

4.5.2 Zusammenfassung und Analyse

Zur Beurteilung, ob sich positiv auf der RPA geprüfte Systeme unter realen Bedingungen bewähren, wurde eine stichprobenartige Gegenüberstellung für die betrachteten Markierungssysteme von bei der Eignungsprüfung und vor Ort ermittelten Messwerten vorgenommen. Diese ergab erwartungsgemäß unterschiedlich stark ausgeprägte Abweichungen. Von einer weitergehenden Interpretation der festgestellten Abweichungen muss nicht nur angesichts des geringen Datenumfangs Abstand genommen werden: Auch fehlen derzeit die für eine Interpretation zugrundezulegenden Kenntnisse zur Berücksichtigung der maßgebenden Einflussfaktoren auf das Gebrauchsverhalten. Es ist zu erwarten, dass die Ausprägung der verkehrstechnischen Eigenschaften der Markierung im Gebrauchszustand von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt. Hierzu können u. a. folgende Faktoren zählen: Die Verkehrsstärke und -zusammensetzung, die Zeitdauer, die Lage der Markierung im Querschnitt, der Querschnitt, die Trassierung, klimatische und geografische Randbedingungen, die Oberflächeneigenschaften der Fahrbahndecke und der Winterdienstesatz. Zur Berücksichtigung dieser Faktoren sind weitere Forschungsaktivitäten erforderlich (vgl. Abschnitt 5.3), da entsprechende Kenntnisse bisher nicht existieren.

5 Zusammenfassung

5.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Die Eignungsprüfung bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) stellt ein wesentliches Element zur Sicherung der Qualität von Fahrbahnmarkierungen in Deutschland dar. Im Rahmen der Eignungsprüfung wird neben der Dauerhaftigkeitsprüfung eine chemisch-physikalische Analyse der Markierungsmaterialien zur Identifizierung der Produkte – die sog. Urmusterprüfung – vorgenommen. Das Ergebnis der Urmusterprüfung dient als Grundlage für die Durchführung der Mustergleichheitsprüfung durch den Auftraggeber. Bei der Mustergleichheitsprüfung wird die chemisch-physikalische Übereinstimmung des vor Ort applizierten Markierungssystems mit dem Urmuster aus der Eignungsprüfung kontrolliert. Nur bei Übereinstimmung der stofflichen Zusammensetzung von Probe und Urmuster hat der erbrachte Nachweis der Eignung des Markierungssystems Gültigkeit. Bisher fehlen jedoch abgesicherte Kenntnisse, zu welchem Anteil die ausgeschriebenen eignungsgeprüften Markierungssysteme tatsächlich in der Praxis appliziert werden.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde erstmalig systematisch untersucht, inwieweit in der Praxis eine Übereinstimmung zwischen dem ausgeschriebenen, BASt-geprüftem Markierungssystem und dem tatsächlich vor Ort applizierten Markierungssystem besteht. Dazu wurden bei Markierungsarbeiten Proben von Markierungsmaterialien entnommen und im Labor Mustergleichheitsprüfungen auf Grundlage der ZTV M und den maßgebenden europäischen Normen durchgeführt. Neben dem Markierungsstoff wurden auch Nachstreumittel mit videobasierten Verfahren untersucht. Die im Rahmen des Projektes ermittelten Ergebnisse wurden zudem den Ergebnissen von regulär bei der BASt durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen im Zeitraum von 2011 bis 2015 gegenübergestellt. Weiterhin wurde die Kennzeichnung der Gebinde mit den Angaben auf dem zugehörigen BASt-Prüfzeugnis abgeglichen. Im Weiteren sollten Kenntnisse gesammelt werden, inwieweit sich positiv bei der BASt-geprüfte Markierungssysteme unter realer Verkehrsbelastung auf der Straße bewähren. Hierzu wurden an mustergleichen Markierungssystemen Messungen im Gebrauchszustand durchgeführt und die Ergebnisse den bei der Eignungsprüfung ermittelten Werten gegenübergestellt.

5.2 Schlussfolgerungen

Inwieweit kommen die vertraglich vereinbarten Markierungssysteme zum Einsatz?

Markierungsstoff

Die Hälfte der untersuchten Proben waren stofflich nicht mustergleich zu dem Urmuster aus der Eignungsprüfung auf der RPA, d. h., es wurden definitionsgemäß andere Markierungssysteme eingesetzt als vertraglich vereinbart. Eine direkte Übertragung des festgestellten hohen Anteils negativer Mustergleichheitsprüfungen am Markierungsstoff auf die Praxis ist aufgrund des geringen Datenumfanges unzulässig. Dennoch können die Ergebnisse als Indiz gewertet werden, dass stoffliche Abweichungen vom Urmuster in der Praxis zu einem signifikanten Anteil auftreten.

Hierfür spricht, dass in guter Übereinstimmung zu den Untersuchungsergebnissen bei der Auswertung der BAST im Zeitraum von 2011 bis 2015 durchgeführten regulären 113 Mustergleichheitsprüfungen im Mittel ein Anteil an negativen Prüfungen von 53 % bestimmt wurde.

Bei den nicht vorgefertigten Markierungssystemen wurden Abweichungen vom Urmuster bei allen untersuchten Markierungsstoffarten - „HS-Farbe“, „reaktive Stoffe“ und „thermoplastische Stoffe“ - festgestellt. Applikationen mit Dispersionen wurden nicht im Rahmen dieses Projekt gemeldet. Eine differenziertere Aussage zu den einzelnen Stoffarten ist aufgrund der teils sehr geringen Probenanzahl nicht möglich. So sind HS-Farben, Thermoplastiken und Kaltspritzplastiken nur zu einem sehr geringen Anteil im Probenumfang vertreten. Die hier untersuchten zwei vorgefertigten Markierungsfolien wurden als mustergleich bewertet. Dies entspricht dem Ergebnis der Mustergleichheitsprüfungen bei der BAST von 2012 bis 2015, bei denen ebenfalls keine stofflichen Abweichungen festgestellt wurden, wobei die insgesamt sehr geringe Anzahl der untersuchten Proben zu berücksichtigen ist. Als offene Frage bleibt bei einer Probe die Bewertung der Mustergleichheit im Hinblick auf die festgestellten Abweichungen vom Urmuster bei den Maßen der Oberflächenstruktur.

Im Hinblick auf die Schwere der Abweichungen ist festzustellen, dass in einem Fall ein nicht BAST-geprüftes Markierungssystem appliziert wurde, wobei Unklarheit über die genauen Ausschreibungsbedingungen besteht. Die Verwendung einer nicht vertraglich vereinbarten Stoffgruppe wurde bei den weiteren Markierungsmaßnahmen nicht festgestellt. Weiterhin haben bei bestimmten Proben marginale Überschreitungen der zulässigen Toleranzen nach EN 12802 bei einzelnen Parametern zur Bewertung als „nicht mustergleich“ geführt, während bei anderen Proben relative Differenzen im zweistelligen Bereich und/oder Abweichungen bei mehreren Parametern vorlagen.

Nicht bei jeder Probe konnten alle Kennwerte für die Auswertung herangezogen werden, da z. B. bei älteren Urmusterprüfungen nicht die Dichte von Kaltplastiken bestimmt wurde und somit kein Vergleichswert für die Mustergleichheitsprüfung existiert. Auch von den Nachstreumitteln wurden aufgrund fehlender Analyseverfahren bis etwa 2008 keine Rückstellmuster aufbewahrt. Der tatsächliche Anteil musterungleicher Materialien könnte folglich höher ausfallen als hier festgestellt.

Nachstreumittel

Nach den ZTV M 13 umfasst die Mustergleichheitsprüfung neben dem Markierungsstoff auch die Nachstreumittel. Die verbindliche Bewertung der Mustergleichheit von Nachstreumitteln bei der BAST befindet sich derzeit in der Vorbereitung. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die vorgesehenen Analysemethoden bereits angewandt. Bei insgesamt 14 von 15 nicht vorgefertigten Markierungssystemen konnten Proben des vor Ort eingesetzten Nachstreumittels untersucht werden. Analog zum Markierungsstoff zeigen die Ergebnisse einen vergleichsweise hohen Anteil an Proben mit vom Urmuster abweichenden Eigenschaften. Von den betrachteten Kenngrößen sticht insbesondere die häufig abweichende Partikelgrößenverteilung der Proben heraus: Wird der Toleranzbereich für die Partikelgrößenverteilung gemäß Anhang C der TP M als Maßstab für die Mustergleichheit des Nachstreumittels genommen, sind 9 von 14 untersuchten Nachstreumittel-Proben als musterungleich zu bewerten.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Fall fehlender Rückstellproben aus der Urmusterprüfung für dieses Projekt Proben mit identischer Bezeichnung verwendet wurden, so dass die Ergebnisse mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Generell wurde beim vorliegenden Projekt festgestellt, dass ein vollständiger Abgleich mit dem Urmuster sowie der Produktspezifikation nur bei einem sehr geringen Anteil an Nachstreumittel-Proben möglich war. Häufig ließ sich dies darauf zurückführen, dass wie zuvor beschrieben bei älteren Urmusterprüfungen keine Rückstellmuster aufbewahrt wurden, die eine nachträgliche Analyse erlaubt hätten; die videobasierte Analyse von Nachstreumittelgemischen mit transparenten Griffigkeitsmitteln ist bisher nicht technisch realisierbar; die für die Urmusterprüfung eingereichten Produktspezifikationen galten nur für die Reflexkörper, etc. Derzeit befindet sich die Einführung einer verbindlichen Bestimmung der für das Nachstreumittel relevanten Kenngrößen im Rahmen der Urmuster- und Mustergleichheitsprüfung in der Vorbereitung, so dass zukünftig für einen höheren Anteil an Proben eine vollständige Mustergleichheitsprüfung möglich sein wird. Darüber hinaus lassen die im vorliegenden Projekt gesammelten Kenntnisse erwarten, dass die Einführung der neuen Analysemethoden für Nachstreumittel mit einer deutlichen Zunahme des Anteils negativer Mustergleichheitsprüfungen einhergehen könnte.

Zudem wurden im Rahmen des Projekts Erfahrungen mit den Toleranzen für Nachstreumittel gesammelt, die mit der anstehenden Veröffentlichung der TP M zur Anwendung kommen werden: Gegenüber den häufigen Abweichungen vom Toleranzbereich gemäß TP M wurde in keinem Fall eine Abweichung von den auf Grundlage der EN 1423 „Nachstreumittel“ in der Produktspezifikation angegebenen Toleranzbereichen festgestellt. Im Projekt wurden Proben analysiert, deren Partikelgrößenverteilungen eine deutlich vom Urmuster abweichende Ausprägung aufwiesen. Da auch diese Proben innerhalb des Toleranzbereichs nach EN 1423 liegen, erscheint deren Eignung als Maßstab für die Urmuster- und Mustergleichheitsprüfung fraglich. Dagegen wurden auf Basis der Toleranzen gemäß den TP M offensichtlich abweichende Proben als solche erkannt.

Bei den im Rahmen des Projektes untersuchten Nachstreumittel-Proben wurden keine offenkundigen stofflichen Abweichungen vom Urmuster festgestellt. Das zur Analyse stofflicher Abweichungen eingesetzte Mikroskop mit 30 bis 50facher Vergrößerung zeigt z. B., ob es sich um transparente oder intransparente Griffigkeitsmittel handelt und gibt Hinweise auf die stoffliche Identität im Sinne einer Unterscheidung der gängigen Griffigkeitsmittel aus Keramik, Minigrain/Cristobalit, Korund, etc.. Zur Unterscheidung visuell nur schwer zu unterscheidender Stoffe wie Glasbruch und Korund hätten im Verdachtsfall aufwendigere Verfahren (z. B. Verwendung von Immersionsöl) eingesetzt werden müssen, mit denen im Rahmen dieses Projektes keine Erfahrungen gesammelt werden konnten. Nicht berücksichtigt wurde zudem eine Überprüfung der für die CE-Kennzeichnung relevanten Angaben wie z. B. der Anteil fehlerhafter Reflexkörper und Abweichungen beim Brechungsindex oder das Vorhandensein gefährlicher Stoffe.

Kennzeichnung der Produkte

Im Rahmen des Projektes wurde mehrfach festgestellt, dass die auf den Gebinden der Nachstreumittel und Markierungsstoffe aufgeführten Produktbezeichnungen von den Angaben im vertraglich vereinbarten BAST-Prüfzeugnis abwichen.

Dabei kann es sich um marginale Unterschiede, wie beispielsweise kurze Zusätze im Produktnamen, handeln, die – wie es die Ergebnisse der Laboruntersuchungen zeigen - nicht zwangsläufig mit vom Urmuster abweichenden Produkteigenschaften einhergehen. Dennoch bestehen für den Auftraggeber und- nehmer auch bei marginal abweichenden Produktbezeichnungen grundsätzlich folgende Risiken: Der Auftraggeber von Markierungsarbeiten muss bei Feststellung von Abweichungen im Rahmen von Kontrollprüfungen abwägen, ob neben einem Verstoß gegen die Vorgaben der ZTV M und TL M 06 das Risiko der Applikation einer nicht geprüften Kombination von Materialien oder nicht aufeinander abgestimmter Komponenten in Kauf genommen wird oder die gesamte Markierungsmaßnahme abgebrochen wird – trotz ggf. technisch einwandfreier Produkte. Unbestritten ist, dass sich die Gültigkeit des BASt-Prüfzeugnisses nur auf Markierungssysteme mit übereinstimmend bezeichneten Nachstreumitteln und Stoffen erstreckt. Der Applikateur wiederum riskiert die Einstellung der Arbeiten oder Konsequenzen bei der Abnahme. Auch im Kommentar zur ZTV M 13 bleibt offen, wie bei Kontrollprüfungen bei der Applikation mit dem Widerspruch zwischen den Anforderungen der TL M 06 und der Auskunft des Markierungsstoffherstellers umzugehen ist: *„Sollte es Abweichungen geben, so sollte zunächst der Auftragnehmer hierzu befragt werden. Da die Markierungsstoffhersteller mit verschiedenen Nachstreumittelherstellern zusammenarbeiten und umgekehrt, gibt es in der Praxis tatsächlich Markierungsmaterialien derselben Zusammensetzung, die unter verschiedenen Handelsbezeichnungen vertrieben werden. Laut den TL M 06 muss aber die Produktbezeichnung aller Markierungsmaterialien auf den Gebinden mit den Bezeichnungen im Prüfzeugnis übereinstimmen (...).“* (DREWES et al. 2015: 127) Als Empfehlung aus diesem Projekt kann abgeleitet werden, dass seitens des Applikateurs auf eine strikte Wareneingangskontrolle zu achten ist, um derartige Schwierigkeiten grundsätzlich auszuschließen (s. u.).

Bewähren sich positiv bei der BASt geprüfte Markierungssysteme in der Praxis?

Bei den Messwerten in situ zeigte sich erwartungsgemäß eine ausgeprägte Abhängigkeit der lichttechnischen Eigenschaften von den spezifischen Randbedingungen, wie z. B. der Lage der Markierung im Querschnitt, der Verkehrsbelastung, dem betrachteten Querschnitt, etc. Dies erschwerte den Vergleich mit den auf der Rundlaufprüfanlage der BASt ermittelten Werten bzw. schränkte die Vergleichbarkeit der in situ ermittelten Ergebnisse stark ein. Auch ist der Datenumfang zu gering, um eine aussagekräftige Beantwortung der Fragestellung vornehmen zu können. Auf eine nähere Beleuchtung der Auswirkungen von Abweichungen bei der Mustergleichheitsprüfung oder z. B. bei den Produktbezeichnungen auf das Gebrauchsverhalten des Markierungssystems wurde daher verzichtet. Weitere Untersuchungen sind anzustreben, wobei die hier gewählte Methodik einer Überprüfung unterzogen werden sollte (s. u.).

5.3 Weiterer Forschungsbedarf

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wurden erste Kenntnisse gesammelt, die einer weiteren Vertiefung bedürfen. Die Hinweise auf maßgebliche Anteile musterungleicher Markierungssysteme in der Praxis sollten nach entsprechender Absicherung als Anlass für eine weitere Befassung mit der Thematik genommen werden. Zur Beantwortung der diesem Projekt zugrundeliegenden Fragestellungen wird die folgende Untersuchungsmethodik empfohlen:

- Zur Erweiterung der Datengrundlage bzgl. der Frage, in welchem Umfang die vertraglich vereinbarten Markierungssysteme zum Einsatz kommen, sollte geprüft werden, wie eine möglichst flächendeckende Probenahme im größeren Umfang realisiert werden kann, beispielsweise durch die gezielte Einbindung mehrerer Stellen, wie z. B. durch eine Beauftragung der von der BAST anerkannten Prüfstellen für Fahrbahnmarkierungen. Von großem Wert wäre zudem die Möglichkeit der Entnahme von Materialproben im Werk.
- Hinsichtlich der Gewinnung von Erkenntnissen zum Gebrauchsverhalten von positiv bei der BAST geprüften Markierungssystemen sollte zur Minimierung der Variation der Umfeldparameter die Nutzung einer Versuchsstrecke in Anlehnung an EN 1824 „Feldprüfungen“ angestrebt werden, auf der die zu betrachtenden Markierungssysteme aufgebracht und gemessen werden. Hierdurch wäre ein höherer Grad der Vergleichbarkeit der zu untersuchenden Systeme untereinander gegeben als bei einer Untersuchung von Markierungen auf diversen Strecken. Darüber hinaus besteht Bedarf an Kenntnissen zur Berücksichtigung der maßgebenden Einflussfaktoren auf das Gebrauchsverhalten von Markierungen. Hierzu könnte unterstützend die Nutzung der von der BAST gesammelten Gebrauchswerte aus den Bundesländern in Betracht gezogen werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Festlegung von Toleranzen für weitere Merkmale für die Urmuster- und Mustergleichheitsprüfung, beispielsweise hinsichtlich der Maßhaltigkeit der Oberflächenstruktur von Markierungsfolien und des Anteils an Griffigkeitsmitteln in Nachstreumittelgemischen.

Zudem wäre die Weiterentwicklung des videobasierten Verfahrens zur Analyse von Nachstreumittelgemischen hinsichtlich der Berücksichtigung transparenter Griffigkeitsmittel wünschenswert, um alle in der Praxis eingesetzten Nachstreumittelgemische bei der Eignungsprüfung und Mustergleichheitsprüfung bewerten zu können.

5.4 Empfehlungen für die Praxis

Die bei der im Rahmen des Projekts stichprobenartigen Untersuchung der Mustergleichheit und Einhaltung der Applikationsbedingungen häufig festgestellten Abweichungen verdeutlichen die Notwendigkeit der Durchführung von Prüfungen während der Applikation und von Mustergleichheitsprüfungen. Wie bekannt können bei der Prüfung während der Applikation wichtige Eigenschaften der Markierung überprüft werden, die zu einem späteren Zeitpunkt an der fertigen Markierung nicht mehr ermittelt werden können (ZTV M 13, DREWES et al. 2015). Zudem können bei der Feststellung von Applikationsfehlern ggf. direkt Korrekturen vorgenommen werden. Weiterhin sind die bei der Prüfung während der Applikation festgestellten Abweichungen von Bedeutung für die Durchsetzung von Mängelansprüchen bei der späteren Prüfung im Gebrauchszustand.

Angesichts der festgestellten häufigen Abweichungen zwischen BAST-Prüfzeugnis und Produktkennzeichnung werden dem Applikateur strikte Wareneingangskontrollen empfohlen. Produkte mit abweichender Kennzeichnung der Gebinde sollten konsequent abgelehnt werden.

Weiterhin wird eine Reduzierung der in der Freigabeliste der BAST geführten Produkte mit teilweise nur marginal abweichenden Produktbezeichnungen auf die tatsächlich am Markt gehandelten Produkte empfohlen.

5.5 Ausblick

Trotz des geringen Datenumfangs alarmieren die hier festgestellten Anteile musterungleicher Markierungsstoffe (ca. 50 %) und Nachstreumittel (ca. 60 %). Im Hinblick auf die gravierenden Konsequenzen aus negativen Mustergleichheitsprüfungen für den Auftragnehmer und –geber sowie im Hinblick auf die Sicherstellung der Wirksamkeit der Eignungsprüfung von Markierungen sollten die Ergebnisse als Anlass für eine Validierung der Ergebnisse und Fortführung der Bemühungen genommen werden. Auch angesichts des hohen Anteils negativer Ergebnisse im Rahmen der regulären Mustergleichheitsprüfungen bei der BAST werden bereits heute Schritte unternommen, um potenzielle Fehlerquellen in der gesamten Kette von der Urmusterprüfung bis zur Durchführung der Mustergleichheitsprüfung auszuschließen. In der FGSV wurde beispielsweise der „Leitfaden zur Probenahme von Markierungsmaterialien zur Durchführung der Mustergleichheitsprüfung gemäß ZTV M 13“ als Hilfestellung für die Probenahme erarbeitet. Weiterhin wird derzeit bei der BAST das Vorgehen bei der Urmusterprüfung hinsichtlich der Festlegung der Urmuster-Werte umgestellt: Zukünftig teilt der Antragsteller der BAST vor der Eignungsprüfung die für sein Produkt maßgebenden Kennwerte mit, die im Nachgang zur RPA-Prüfung von der BAST bestätigt werden. Damit werden Urmusterdaten hinterlegt, die eine Korrektur bei der Produktion nach der Eignungsprüfung erübrigen. In diesem Rahmen werden zudem die bestehenden Urmusterdaten der in der Freigabeliste geführten Markierungssysteme einer Überprüfung durch die BAST unterzogen. Die Entwicklung der Quote musterungleicher Systeme sollte auch zur Bewertung der Auswirkungen der o. g. Maßnahmen weiter verfolgt werden.

6 Literatur

Drewes, C.: Skript zum Thema Prüfungspraxis, Schulungsunterlage zum BAST-DSGS-Lehrgang zur Erlangung der Anerkennung als Prüfstelle, DSGS e. V., Bad Sachsa, 2015

Drewes, C.; John, D.; Meseberg, H.-H.: ZTV M 13- Handbuch und Kommentar für Markierungen auf Straßen, Kirschbaum Verlag GmbH, 53179 Bonn, 2015

Schönborn, H.-D.; Domhan, M.: Handbuch für die Markierung von Straßen – HMS, Otto Elsner Verlagsgesellschaft mbH & Co KG, 6100 Darmstadt, 1981

Recknagel, C.; Eichler, A.; Koch, M.; Proske, M.; Huth, C.: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 232, 51427 Bergisch Gladbach, 2014

Killing, S.; Hirsch, V.; Boubaker, M.; Krotmann, E.: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 27, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 27511 Bremerhaven, Bergisch Gladbach,

Krotmann, E.; Killing, S.; Hirsch, V.: Bestimmung der Massenanteile von Premix-Reflexkörpern in Fahrbahnmarkierungssystemen; Straßenverkehrstechnik 10/2001, S. 488 ff., Kirschbaum Verlag GmbH, 53179 Bonn

Killing, S.: Urmuster- und Mustergleichheitsprüfung von Straßenmarkierungsfolien, Straßenverkehrstechnik 4/2010, S. 259 ff.,

Killing, S.; Volker, H.; Meseberg, H.H.: Titandioxid in Fahrbahnmarkierungen – Neue Bestimmungsverfahren, Straßenverkehrstechnik 11/2005, S. 572 ff., Kirschbaum Verlag GmbH, 53179 Bonn

Ehl, K.; Hirsch, V.; Schaedel, P.: Verbesserung und Abstimmung des Prüfverfahrens zur Bestimmung der Hitzebeständigkeit von Heißplastikmassen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1999

Killing, S.; Hirsch, V.; Boubaker, M., Krotmann, E.: Erfahrungssammlung mit neuen Untersuchungsmethoden zur chemisch-analytischen Charakterisierung von Markierungsstoffen und Beistoffen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2003

Regelwerke

Technische Prüfbedingungen für Markierungssysteme und -elemente - TP M (Entwurf, Stand: Juni 2017)

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen – ZTV M 13, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen – ZTV M 02, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2002

Technische Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien - TL M 06, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2006

Leitfaden zur Probenahme von Markierungsmaterialien zur Durchführung der Mustergleichheitsprüfung gemäß ZTV M 13, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2015

Normen

DIN EN 1423:2013: Straßenmarkierungsmaterialien – Nachstreumittel – Markierungs-Glasperlen, Griffigkeitsmittel und Nachstreugemische

prEN 1424:2015: Straßenmarkierungsmaterialien – Premixglasperlen

DIN EN 1436:2009: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen

DIN EN 1790:2013: Straßenmarkierungsmaterialien – Vorgefertigte Markierungen

prEN 1871:2008: Straßenmarkierungsmaterialien – Physikalische Eigenschaften

DIN EN 12802:2011: Straßenmarkierungsmaterialien – Laborverfahren für die Identifizierung von Straßenmarkierungsmaterialien

DIN 67520-1:1994-06: Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung; Lichttechnische Bewertung, Messung und Kennzeichnung von Rückstrahlern und Reflexstoffen

DIN ISO 565:1998-12: Analysensiebe - Metalldrahtgewebe, Lochplatten und elektroformte Siebfolien – Nennöffnungsweiten

Straßenverkehrsordnung - StVO

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) vom 22. Oktober 1998 in der Fassung vom 22. September 2015

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Rundlaufprüfanlage der BAST	8
Abbildung 3-1: Entnahme eines reaktiven Markierungsstoffs aus dem Vorratsbehälter der Markiermaschine (links) und Herstellung eines Prüfblechs (rechts).....	14
Abbildung 3-2: Gegenüberstellung der Infrarotspektren von anorganischen Pigmenten des Urmusters und der Mustergleichheitsprobe.....	17
Abbildung 3-3: exemplarische Darstellung des Vergleichs zweier Thermogramme von Straßenmarkierungsfolien.....	18
Abbildung 3-4: Exemplarisch dargestelltes Gaschromatogramm des Lösemittels einer HS-Farbe..	19
Abbildung 3-5: Bildanalyse der Oberfläche einer Markierungsfolie im Rahmen der Mustergleichheitsprüfung.....	20
Abbildung 3-6: Beispielhafte Darstellung der Partikelverteilung als kumulierter prozentualer Durchgang	22
Abbildung 3-7: Beispiel für die Bestimmung des Anteils an Griffigkeitsmitteln.....	23
Abbildung 3-8: Aufnahme eines Nachstreumittel-Gemisches aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln mit dem Mikroskop bei 50facher Vergrößerung	24
Abbildung 3-9: prozentualer Rückstand je Partikeldurchmesser	25
Abbildung 4-1: Agglomeratmarkierung bei Probenahme 01.....	28
Abbildung 4-2: Applikation der Randmarkierung (links) und Agglomeratmarkierung (rechts).....	29
Abbildung 4-3: Applikation der regelmäßigen Agglomeratmarkierung (links) und Draufsicht Agglomeratmarkierung (rechts) 03 A.....	30
Abbildung 4-4: Manuelle Applikation der Markierung als Vollstrich (links) und Draufsicht (rechts) 03 B.....	31
Abbildung 4-5: Applikation der Markierungsfolie (links) und Draufsicht (rechts) 03 C.....	31
Abbildung 4-6: Applikation 04 auf der Schiersteiner Brücke.....	32
Abbildung 4-7: Ansicht Markierung bei Probenahme 05	33
Abbildung 4-8: Markierung auf dem Prüfblech in der Draufsicht bei Probenahme 06.....	34
Abbildung 4-9: Draufsicht Agglomeratmarkierung bei Probenahme 07	35
Abbildung 4-10: Vorbereitung zur Applikation (links) und Draufsicht Prüfblech (rechts) bei Probenahme 08	36
Abbildung 4-11: Appliziertes Sperrgatter (links) und Draufsicht Fahrbahnmarkierung (rechts) bei Probenahme 09	37
Abbildung 4-12: Applizierte Fahrbahnbegrenzung (links) und Draufsicht Agglomerat (rechts) bei Probenahme 10	38
Abbildung 4-13: Applizierte Markierung (links) und Draufsicht Markierung (rechts) bei Probenahme 12	40
Abbildung 4-14: Applikation der Bitumenschicht (links) und applizierte Folie auf Bitumenschicht (rechts) bei Probenahme 13	40

Abbildung 4-15: Selbstfahrende Aufsitzmaschine (links) und Draufsicht Agglomeratmarkierung (rechts) bei Probenahme 14	41
Abbildung 4-16: Applikation der Leitlinie (rechts) und Draufsicht Markierung (rechts) bei Probenahme 15	42
Abbildung 4-17: Mikroskopaufnahme und Vermessung des Urmusters (links) und der Probe (rechts) als Draufsicht bei 20facher Vergrößerung (exemplarisch) für Probenahme 03 C... 46	
Abbildung 4-18: Mikroskopaufnahme und Vermessung des Urmusters (links) und der Probe (rechts) im Querschnitt bei 20facher Vergrößerung (exemplarisch) für Probenahme 03 C 46	
Abbildung 4-19: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links) und der Probe (rechts) als Draufsicht bei 20facher Vergrößerung für Probenahme 13	47
Abbildung 4-20: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links) und der Probe (rechts) im Querschnitt bei 20facher Vergrößerung für Probenahme 13	47
Abbildung 4-21: Anzahl der jährlich bei der BAST durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen und Anzahl der Prüfungen mit negativem Ergebnis in den Jahren 2011 bis 2015	50
Abbildung 4-22: Anzahl der bei der BAST durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen (gesamt) und der negativen Mustergleichheitsprüfungen in Abhängigkeit von der Stoffart in den Jahren 2011 bis 2015 (KP = Kaltplastik, KSP = Kaltspritzplastik, TP = Thermoplastik) 51	
Abbildung 4-23: Anteil der Arten von Abweichungen in Prozent bei den bei der BAST durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen in den Jahren 2011 bis 2015.....	52
Abbildung 4-24: Anteil der Arten von Abweichungen in Prozent bei den bei der BAST durchgeführten Mustergleichheitsprüfungen als Mittel aus den Jahren 2011 bis 2015	53
Abbildung 4-25: Urmuster zu 2014 (links) und Probe aus Schlauch, 30fache Vergrößerung (rechts) für Probenahme 07	54
Abbildung 4-26: Kumuliertes Partikelvolumen der Proben (nur Reflexkörper) aus dem Schlauch (orange) und aus dem Behälter (blau) als Rückstand sowie Herstellertoleranzen für Probenahme 07	55
Abbildung 4-27: Rückstände je Partikeldurchmesser für das Urmuster (grün) und die Proben (blau, rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 07	56
Abbildung 4-28: Anteil der Griffigkeitsmittel im Nachstreumittelgemisch für die Proben und das Urmuster für Probenahme 07	57
Abbildung 4-29: Messung auf der Leitlinie bei Maßnahme 01	60
Abbildung 4-30: Vorher-Nachher-Vergleich Maßnahme 1 (verschiedene Standorte)	60
Abbildung 4-31: Messung auf der rechten Fahrbahnbegrenzung am Messpunkt 1 (links) und auf der Fahrstreifenbegrenzung am Messpunkt 2 (rechts).....	61
Abbildung 4-32: Aufnahme der Agglomeratmarkierung an Messpunkt 1 - vorher/nachher-Vergleich	62
Abbildung 4-33: Nahaufnahme der Agglomeratmarkierung an den Messpunkten 1 (links) und 2 (rechts).....	63

Abbildung 4-34:	Aufnahme der Agglomeratmarkierung an Messpunkt 2 - vorher/nachher-Vergleich	63
Abbildung 4-35:	Messung auf der Doppellinie bei Maßnahme 14 im Dezember 2012.....	65
Abbildung 4-36:	beispielhafte Aufnahmen der Agglomeratmarkierung unmittelbar nach Applikation (links) und nach Belastung bei Linie 1 (rechts)	65
Abbildung 4-37:	Nahaufnahme Agglomerat bei Linie 1 (links) und Linie 2 (rechts)	66
Abbildung 4-38:	unmittelbar nach Applikation (links) und nach Belastung bei Linie 2 (rechts).....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Sanktionierung bei Musterungleichheit des applizierten Markierungssystems gemäß ZTV M 13	10
Tabelle 3-2:	Toleranzen gemäß EN 12802	20
Tabelle 3-3:	Beispielhafte Darstellung des Ergebnisses der Partikelanalyse als Wertetabelle	21
Tabelle 4-1:	Übersicht der Probenahmen und Messungen	27
Tabelle 4-2:	Kennwerte der Applikation 01	28
Tabelle 4-6:	Kennwerte der Applikation 03 C	32
Tabelle 4-7:	Kennwerte der Applikation 04	32
Tabelle 4-16:	Kennwerte der Applikation 13	41
Tabelle 4-17:	Kennwerte der Applikation 14	41
Tabelle 4-18:	Kennwerte der Applikation 15	42
Tabelle 4-19:	Zusammenfassung der Abweichungen bei den Applikationen.....	43
Tabelle 4-21:	Fortsetzung von Tabelle 4-20.....	45
Tabelle 4-22:	Übersicht Ergebnisse der Mustergleichheitsprüfung des Markierungsstoffs.....	48
Tabelle 4-23:	Anteil der festgestellten Abweichungen bei der Mustergleichheitsprüfung.....	49

Anhang A

Ergebnisse der Analyse der Markierungsstoffe

Maßnahme 1

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	k. A.
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	25,8
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	74,2
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ ,TiO ₂ ,SiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	9,5
Anteil Premixperlen	49,2
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methylmethacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 2

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	k. A.
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	20,6
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	79,4
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ ,TiO ₂ ,SiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	10,9
Anteil Premixperlen	21,5
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methylmethacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 3a

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	k. A.
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	22,3
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	77,7
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ ,TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	7,8
Anteil Premixperlen	48,7
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methylmethacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 3b

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	Nicht bestimmt
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	23,5
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	76,5
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , SiO ₂ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	8,5
Anteil Premixperlen	45,6
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methylmethacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 3c

Parameter	Probe
Material	Folie
Masseverlust bis 450 °C	29,8
Masseverlust > 700 °C	5,1
Masseverlust gesamt	34,9
IR Spektren Vergleich Glührückstand	
Folienoberseite: Breite Wabe [mm]	6,0
Folienoberseite: Breite Zwischenraum [mm]	2,6
Folienquerschnitt: Höhe Wabe [mm]	1,8
Folienquerschnitt: Höhe Zwischenraum [mm]	0,9
IR-Spektrum Kleber Identifizierung Stoffe	Butadiene, Homopolymer, Cis
IR-Spektrum Kleber Vergleich Korrelation	

Maßnahme 4

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	k. A.
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	21,8
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	78,2
Identifizierung anorganischer Bestandteile	SiO ₂ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	9,9
Anteil Premixperlen	k. A.
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methylmethacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 5

Parameter	Probe
Material	
Dichte	1,46
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	15,1
Identifizierung organischer Bestandteile	Expoxidharz
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	55,9
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , SiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	15,1
Anteil Premixperlen	k. A.
Anteil Lösemittel	29,0
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	MIBK, MBK, Ethanol

Maßnahme 6

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	1,9611
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	22,0
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	78,0
Identifizierung anorganischer Bestandteile	SiO ₂ ,TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	9,4
Anteil Premixperlen	k. A.
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	2Methyl-Methylacrylat,Butylacrylat

Maßnahme 7

Parameter	Probe
Material	Thermoplastik
Dichte	k. A.
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	19,9
Identifizierung organischer Bestandteile	Kohlenwasserstoffharz
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	k. A.
Anteil anorganischer Bestandteile	19,9
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	8,8
Anteil Premixperlen	47,4
EP nach Wilhelmi	113,2
Klasse EP	SP4

Maßnahme 8

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	2,01
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	19,4
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	80,6
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	7,0
Anteil Premixperlen	k. A.
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	2-Methylmethacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 9

Parameter	Probe
Material	HS-Farbe
Dichte	1,39
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	18,8
Identifizierung organischer Bestandteile	Polymeracrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	50,6
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₃
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	7,9
Anteil Premixperlen	-
Anteil Lösemittel	30,6
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Butanon, Ethylacetat, 1-Butylacetat, Ethanol, MIBK, Xylol

Maßnahme 10

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	2,00
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	19,8
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	80,2
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	6,7
Anteil Premixperlen	26,1
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methyl-Methacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 11

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	1,90
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	22,1
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	77,9
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	8,0
Anteil Premixperlen	47,7
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methyl-methacrylat, n-Butylacrylat

Maßnahme 12

Parameter	Probe
Material	Thermoplastik
Dichte	k. A.
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	19,2
Identifizierung organischer Bestandteile	Kohlenwasserstoffharz
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil anorganischer Bestandteile	80,8
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	7,8
Anteil Premixperlen	49,4
EP nach Wilhelmi	95,9
Klasse EP	SP3

Maßnahme 13

Parameter	Probe
Material	Folie
Masseverlust bis 450 °C	28,1
Masseverlust > 700 °C	4,9
Masseverlust gesamt	33,0
IR Spektren Vergleich Glührückstand	
Folienoberseite: Breite Wabe [mm]	7,0
Folienoberseite: Breite Zwischenraum [mm]	1,5
Folienquerschnitt: Höhe Wabe [mm]	1,8
Folienquerschnitt: Höhe Zwischenraum [mm]	0,7
IR-Spektrum Kleber Identifizierung Stoffe	Butadiene, Homopolymer, Cis
IR-Spektrum Kleber Vergleich, Korrelation	

Maßnahme 14

Parameter	Probe
Material	Kaltplastik
Dichte	1,84
Anteil Feststoff	k. A.
Anteil organischer Bestandteile	26,3
Identifizierung organischer Bestandteile	Polymeracrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	97,17
Anteil anorganischer Bestandteile	73,7
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , SiO ₂ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	
Anteil Titandioxid	9,2
Anteil Premixperlen	22,2
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	2-Methyl-Methacrylat, Butylacrylat

Maßnahme 15

Parameter	Probe
Material	Kaltspritzplastik
Dichte	1,58
Anteil Feststoff	
Anteil organischer Bestandteile	43,3
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	k. A.
Anteil anorganischer Bestandteile	56,7
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	k.A
Anteil Titandioxid	13,3
Anteil Premixperlen	k. A.
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methyl-methacrylat, 2-Hydroxypropylmethacrylat, Ethylhexylacrylat

Maßnahme 16

Parameter	Probe
Material	Kaltspritzplastik
Dichte	1,58
Anteil Feststoff	
Anteil organischer Bestandteile	43,4
Identifizierung organischer Bestandteile	Polyacrylat
Korrelation organischer Bestandteile / Schwellenwert	k. A.
Anteil anorganischer Bestandteile	56,6
Identifizierung anorganischer Bestandteile	CaCO ₃ , TiO ₂
Korrelation anorganischer Bestandteile / Schwellenwert	k. A.
Anteil Titandioxid	13,4
Anteil Premixperlen	k. A.
Identifizierung (Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen) Monomere und Oligomere	Methyl-methacrylat, 2-Hydroxypropylmethacrylat, Ethylhexylacrylat

Anhang B

Ergebnisse der Analyse der Nachstreumittel

Probenahme 01

Die Produktbezeichnung des Nachstreumittels gemäß der Kennzeichnung des Gebindes entsprach dem zugehörigen BAST-Prüfzeugnis. Proben vom Nachstreumittel wurden nicht entnommen. Gemäß Beschriftung des Gebindes handelt es sich um ein Gemisch aus Reflexkörpern (85 %) und Griffigkeitsmitteln (15 %). Der Anteil an Griffigkeitsmitteln ist damit geringer als im BAST-Prüfzeugnis angegeben (Anteil Reflexkörper zu Griffigkeitsmittel: 3 zu 1).

Probenahme 02

Die Abbildung B-1 zeigt die vom Urmuster und der Probe angefertigten Mikroskopaufnahmen bei 30facher Vergrößerung. Auf den Aufnahmen ist zu erkennen, dass die Agglomeratmarkierung entsprechend dem zugehörigen BAST-Prüfzeugnis ausschließlich mit Reflexkörpern abgestreut wurde.

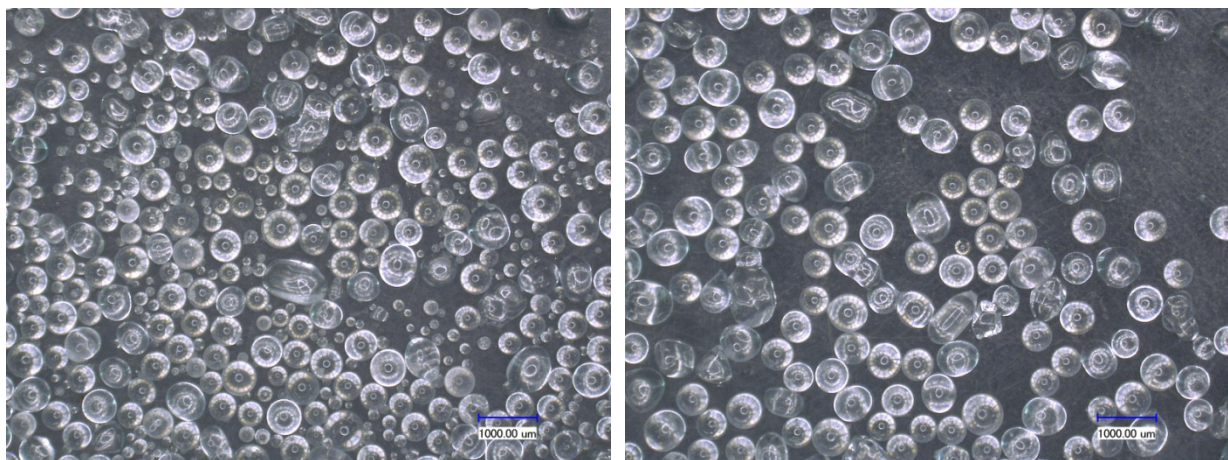


Abbildung BFehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.-1: **Mikroskopaufnahme des Urmusters (links) und der Probe (rechts) von Probenahme 02**

In den Abbildungen B-2 und B-3 ist das Ergebnis der Partikelanalyse der Probe (Rot) und des Urmusters (Grün) dargestellt. Auf der Abszissen-Achse ist der Partikeldurchmesser in μm , auf der Ordinate-Achse das kumulierte Partikelvolumen in Volumen-% als Durchgang dargestellt. Ergänzend ist der Toleranzbereich gemäß Produktspezifikation als gestrichelte graue Ober- und Untergrenze eingetragen.

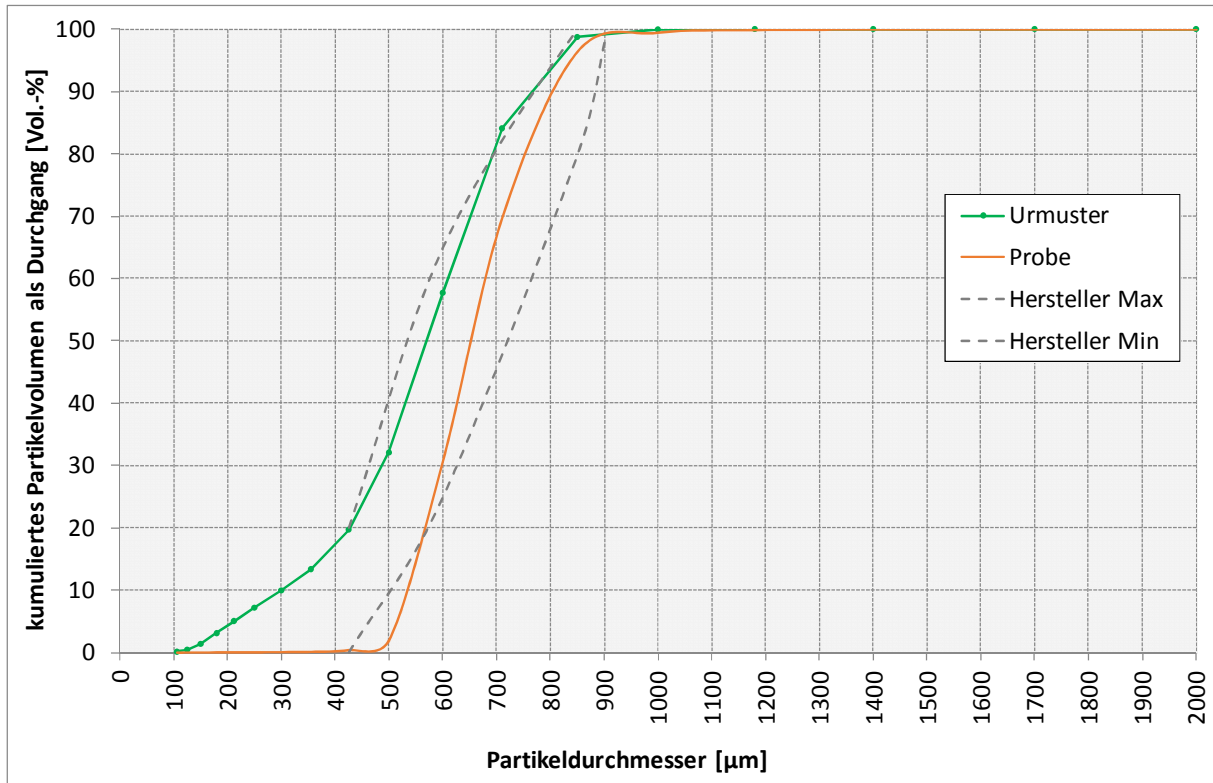


Abbildung B-2: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie Hersteller-toleranzen als kumulierter Durchgang für Probenahme 02

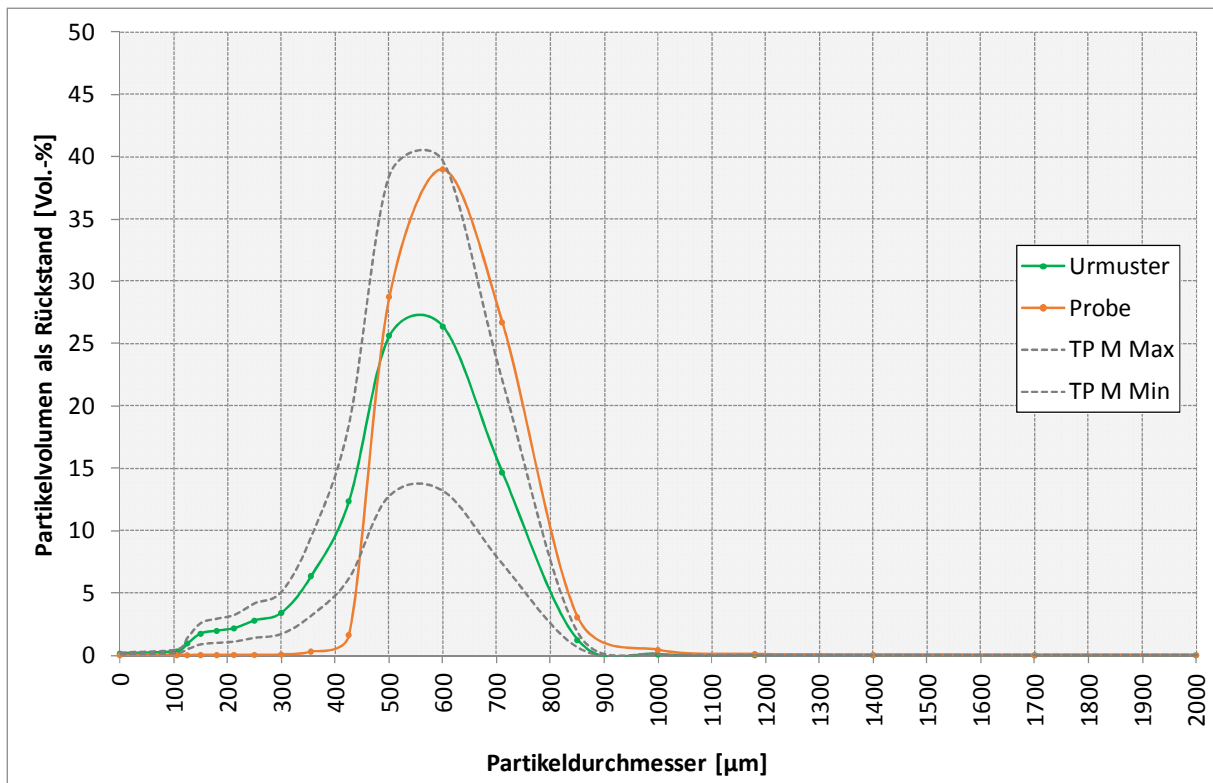


Abbildung B-3: Rückstände je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 02

Die Abbildungen B-2 und B-3 zeigen, dass die Korngrößenverteilung der Probe im Vergleich zum Urmuster insgesamt leicht in Richtung größerer Partikeldurchmesser verschoben ist. Zudem weist das

Urmuster in Richtung kleinerer Durchmesser eine breitere Verteilung auf, während die Probe aus einer scharf definierten Fraktion besteht. So handelt es sich bei der Probe um ein Gemisch von Reflexkörpern mit einem Durchmesser von 425 bis 1000 μm , während bei dem Urmuster Partikel mit Durchmessern von etwa 125 bis 1000 μm festgestellt wurden (Schwerpunkt: ca. > 300 bis 850 μm).

Die Partikelgrößenverteilung der Probe unterscheidet sich zum Teil erheblich vom Urmuster: Die Differenzen bei den Durchgängen belaufen sich je Sieb auf teilweise mehr als 25 Prozentpunkte. Bei den Rückständen wurden Differenzen von mehr als 12 Prozentpunkten festgestellt.

Bei den in der Produktspezifikation angegebenen Siebdurchmessern (425, 600, 850, 900 μm) liegt die ermittelte Verteilung der Probe in zwei Fällen (425 und 850 μm) außerhalb des Toleranzbereichs gemäß den TP M (siehe Kurven „TP M Max“ und „TP M Min“). Bei der Öffnungsweite 900 μm wurde der Rückstand nicht bestimmt, da diese Siebgröße nicht im nach DIN EN 1423 maßgebenden Siebsatz R 40/3 enthalten ist.

Der kumulierte Anteil an Reflexkörpern auf dem Sieb unmittelbar unterhalb des Nennsiebes (hier: 710 μm) lag sowohl bei der Probe (30,3 %) als auch dem Urmuster (15,9 %) über dem Mindestwert von 5 % gemäß den TP M.

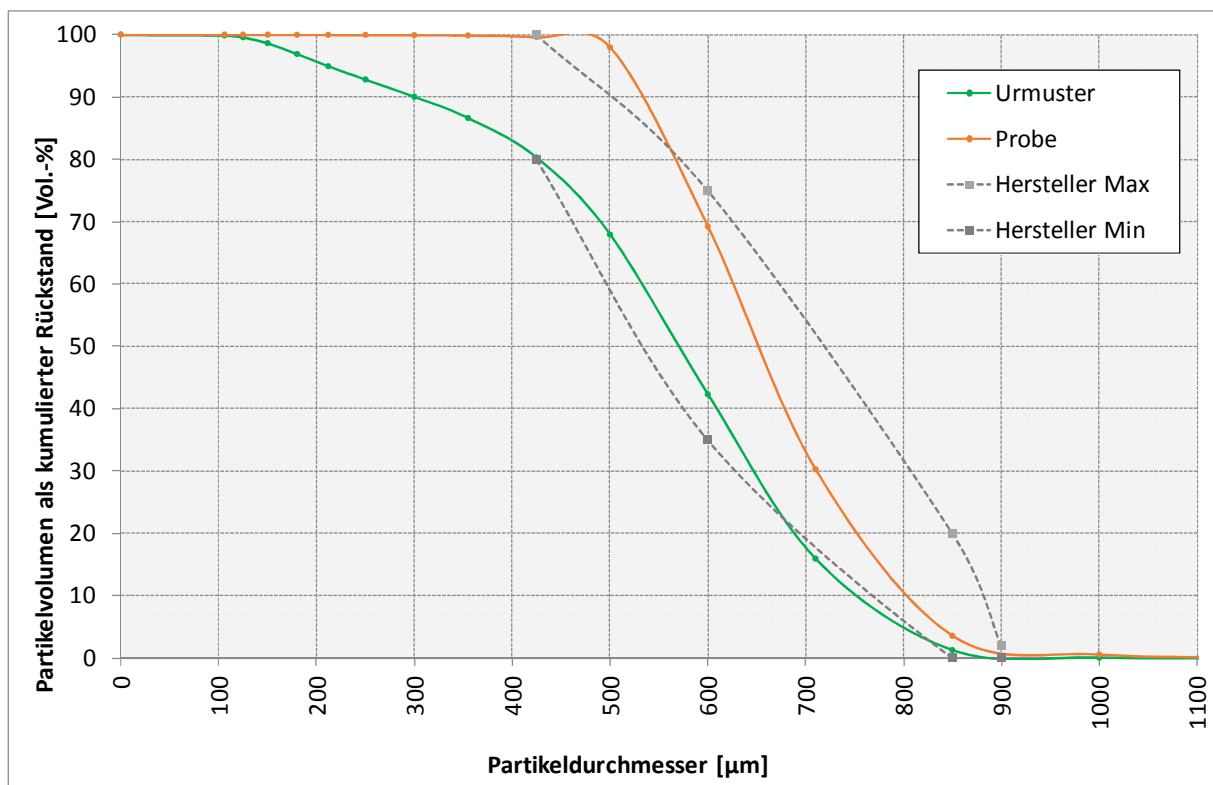


Abbildung B-4: kumulierte Rückstände je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie Herstellerangaben für Probenahme 02

Wie aus Abbildung B-4 ersichtlich wird, befinden sich die Kurven der Probe und des Urmusters bei den vier relevanten Siebdurchmessern (425, 600, 850, 900 μm) innerhalb des zulässigen Bereichs laut Produktspezifikation, vgl. Kurven „Hersteller Max“ und „Hersteller Min“.

Die in der Produktspezifikation aufgeführte Beschreibung der Partikelgrößenverteilung entspricht nicht den Vorgaben der EN 1423. Das Sieb mit der Öffnungsweite von 900 μm ist nicht in der Siebri-

he R 40/3 enthalten. Zudem gilt für das obere Nennsieb (hier: 850 μm) nach EN 1423 eine zulässige Spannweite von 0 bis 10 M.-%. Der kumulierte Rückstand auf dem unteren Nennsieb (hier: 425 μm) muss gemäß EN 1423 zwischen 95 und 100 M.-% betragen. (s. Tabelle B-1).

Tabelle B-1: Auszug aus der Produktspezifikation für die Reflexkörper

Siebennennweite [μm]	kumulierter Rückstand [M.-%]
900	0-2
850	0-20
600	35-75
425	80-100

Probenahme 03 A

Die Nachstreumittel wiesen eine geringfügig vom BAST-Prüfzeugnis abweichende Kennzeichnung auf. Da ein Rückstellmuster aus der Eignungsprüfung im Jahr 2004 nicht vorlag, wurde behelfsweise auf ein Rückstellmuster und die zugehörige Produktspezifikation mit identischer Produktbezeichnung aus einer Eignungsprüfung im Jahr 2008 zurückgegriffen.

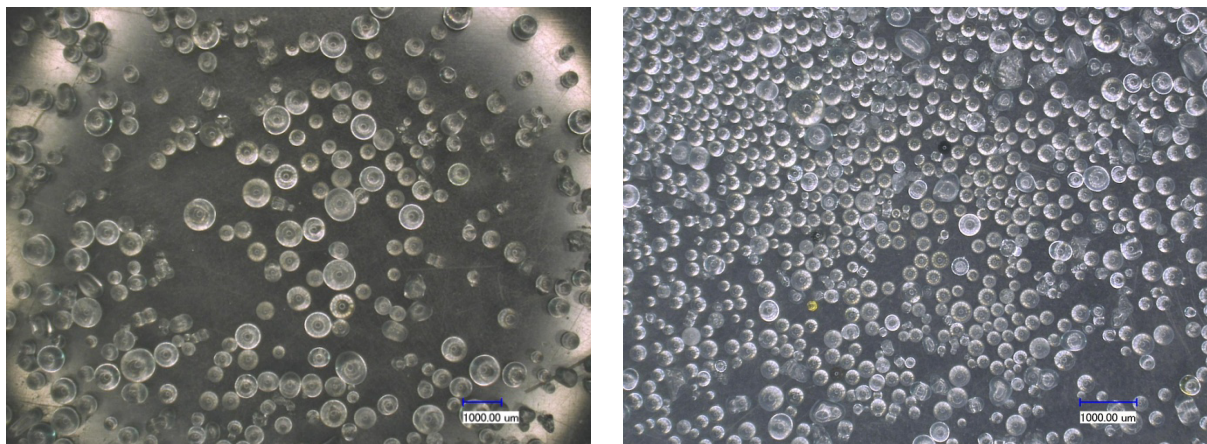


Abbildung B-5: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links, 20fache Vergrößerung) und der Probe (rechts, 30fache Vergrößerung) von Probenahme 03 A

Die mikroskopische Untersuchung ließen nicht auf stoffliche Abweichungen zwischen der Probe und dem Urmuster aus der Eignungsprüfung (2008) schließen (s. Abb. B-5).

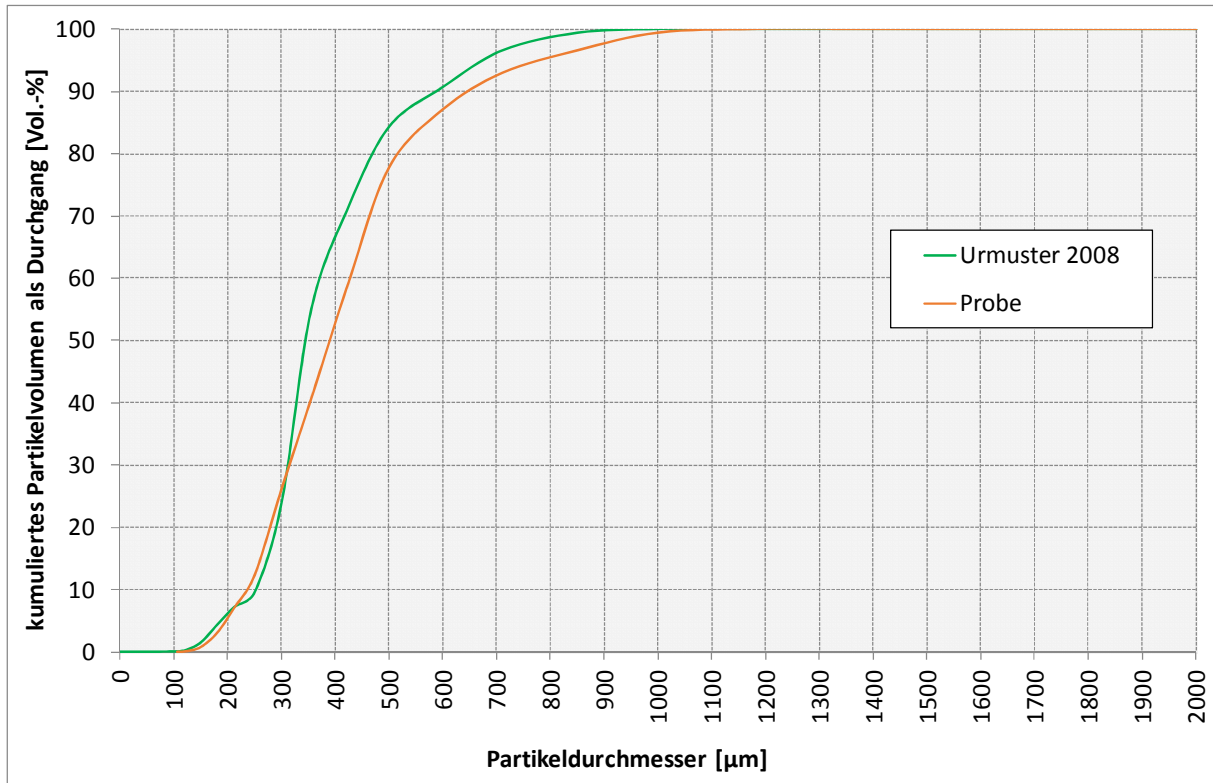


Abbildung B-6: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün, 2008) und der Probe (rot) als Durchgang für Probenahme 03 A

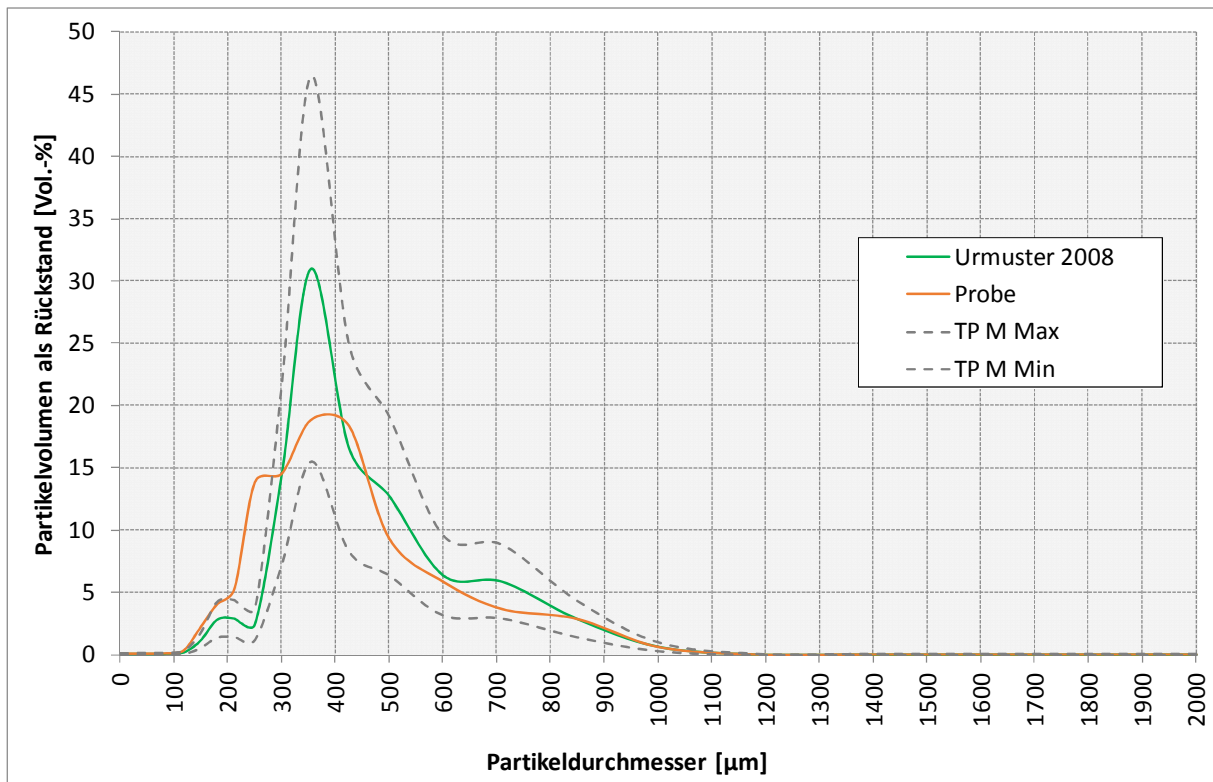


Abbildung B-7: Rückstand je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün, 2008) und der Probe (rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 03 A

Wie die Abbildungen B-6 und B-7 zeigen handelt es sich bei der Probe und dem Urmuster (2008) übereinstimmend um Gemische aus Reflexkörpern mit Durchmessern von ca. 150 bis 1000 μm . Innerhalb dieser Spanne sind die Siebkurven jedoch unterschiedlich ausgeprägt: Das Urmuster weist im Vergleich zur Probe signifikant höhere Anteile an Reflexkörpern mit Durchmessern $\geq 355 \mu\text{m}$ bis 825 μm auf, während die Anteile an Reflexkörpern mit kleineren Durchmessern ($< 300 \mu\text{m}$) geringer als bei der Probe ausfallen.

In der Produktspezifikation sind die Siebe mit den Nennöffnungsweiten 106, 150, 250, 425, 600, 850, 1180 μm angegeben. Bei den Sieben 106, 150 und 250 μm liegt die Verteilung der Probe außerhalb des zulässigen Toleranzbereichs gemäß den TP M (s. Abb. B-7).

Der kumulierte Anteil an Reflexkörpern auf dem Sieb unmittelbar unterhalb des Nennsiebes (hier: 710 μm) war sowohl bei der Probe (7,1 %) als auch dem Urmuster (9,1 %) $\geq 5 \%$ gemäß TP M.

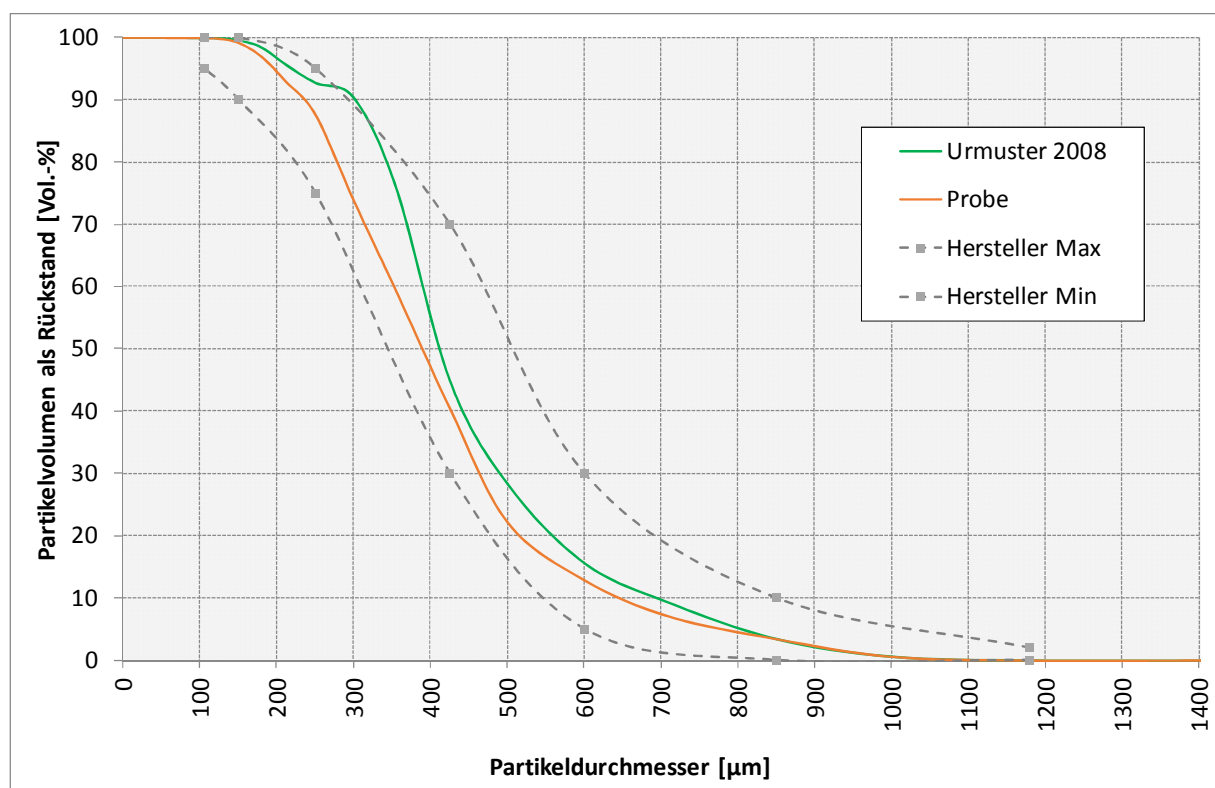


Abbildung B-8: Kumulierter Rückstand je Partikeldurchmesser sowie Herstellerangaben für Probenahme 03 A

Wie in Abbildung B-8 dargestellt, verlaufen die Verteilungen des Urmusters und der Probe innerhalb des zulässigen Bereichs gemäß Produktspezifikation.

Probenahme 03 B

Bei der Applikation wurde nach Rücksprache mit dem Auftraggeber abweichend vom BAST-Prüfzeugnis ein anderes Nachstreumittel verwendet. Das vor Ort entnommene Nachstreumittel wurde mit einem Nachstreumittel mit identischer Produktbezeichnung verglichen, für das ein Rückstellmuster aus einer Eignungsprüfung im Jahr 2009 vorlag.

dem Urmuster aus der Eignungsprüfung für die tatsächlich applizierte Markierung verglichen. Gemäß BAST-Prüfzeugnis sind als Griffigkeitsmittel Korund und Keramik im Nachstreumittelgemisch im Verhältnis 3: 1 enthalten.

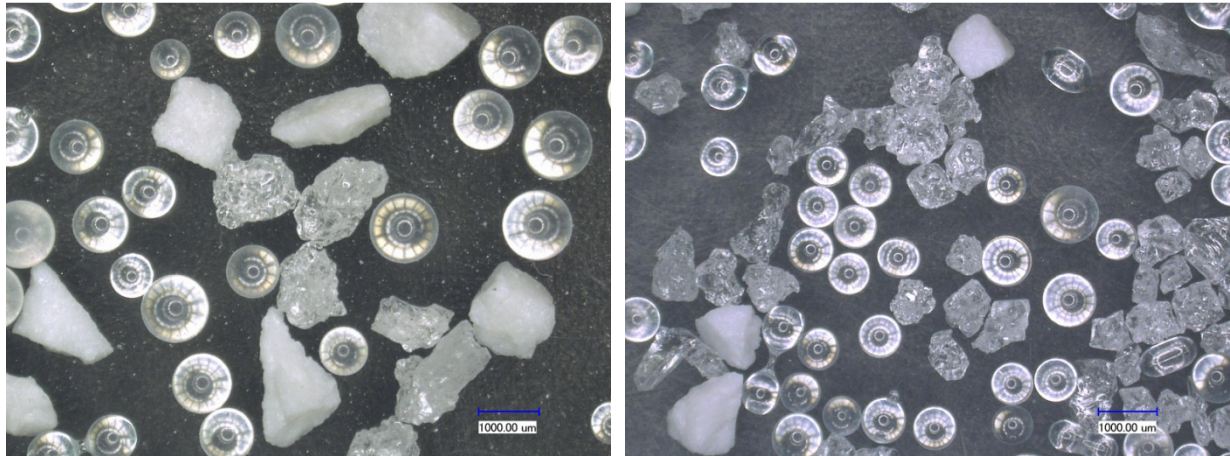


Abbildung B-9: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links, 30fache Vergrößerung) und der Probe (rechts, 30fache Vergrößerung) von Probenahme 03 B

Die mikroskopische Analyse der Nachstreumittel ergab, dass diese übereinstimmend und konform zum BAST-Prüfzeugnis und der Produktspezifikation neben Reflexkörpern auch transparente und intransparente, weiße Griffigkeitsmittel enthalten (s. Abb. B-9).

Aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel konnte keine separate Bestimmung der Partikelgrößenverteilung für die Reflexkörper und Griffigkeitsmittel mit der videogestützten Analysemethode durchgeführt werden. Die zur Eignungsprüfung eingereichte Produktspezifikation konnte für einen Vergleich der Partikelgrößenverteilungen nicht verwendet werden, da diese einerseits nur für die Reflexkörper gilt und andererseits die Beschreibung der Partikelgrößenverteilung in diversen Punkten nicht EN 1423 entspricht.

In den Abbildungen B-10 und B-11 sind die Durchgänge und Rückstände für das gesamte Nachstreumittelgemisch dargestellt.

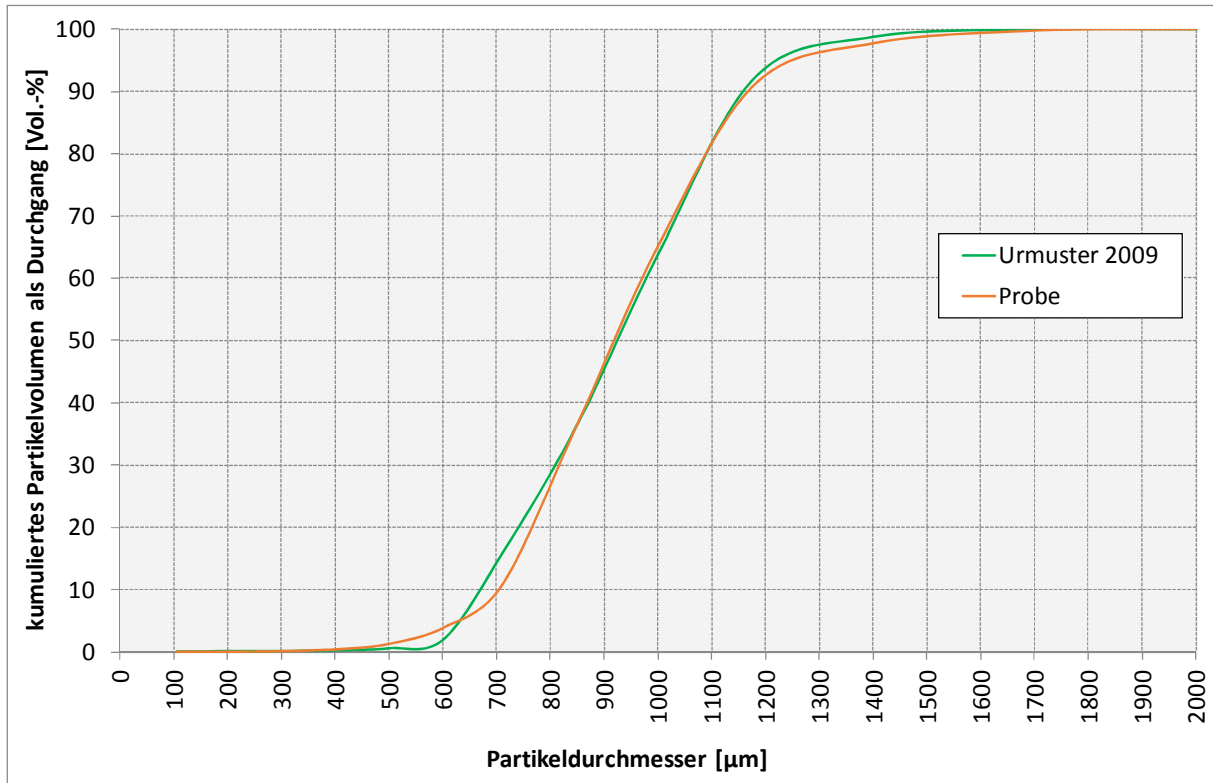


Abbildung B-10: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün, 2009) und der Probe (rot) als Durchgang für Probenahme 03 B

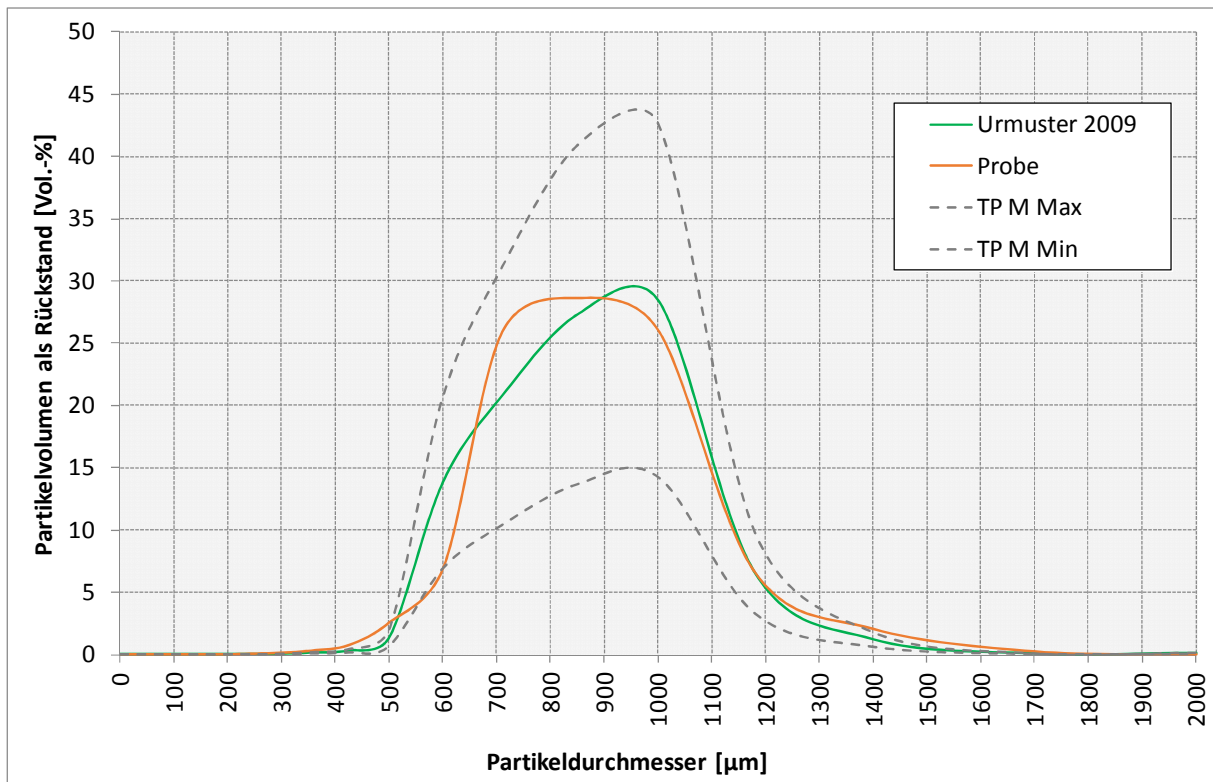


Abbildung B-11: Rückstand je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün, 2009) und der Probe (rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 03 B

Das Gemisch weist maßgebliche Anteile (> 0,5 %) an Partikeln mit Durchmessern zwischen 425 µm bis 1700 µm auf. Das Urmuster und die Probe weisen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung auf.

In der Produktspezifikation ist der Toleranzbereich für folgende Siebe festgelegt: 1300, 1180, 1000, 850 und 600 µm. Da im Siebsatz R 40/3 das Sieb mit der Öffnungsweite 1300 µm nicht enthalten ist, wird hier ersatzweise das Sieb mit der Öffnungsweite 1400 µm betrachtet. Bei diesem Sieb weicht die Verteilung der Probe vom Toleranzbereich gemäß TP M ab.

Der Anteil der auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsieves zurückgehaltenen Reflexkörper konnte aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel nicht bestimmt werden.

Probenahme 04

Bei der Applikation wurde abweichend vom BAST-Prüfzeugnis aus dem Jahr 2005 laut Kennzeichnung der Gebinde ein Nachstreumittel desselben Herstellers mit einer anderen Bezeichnung eingesetzt.

Ein Urmuster des Nachstreumittels aus der Eignungsprüfung im Jahr 2005 war nicht vorhanden. Um auch hier die gleichen Auswertungen vornehmen zu können, wurde behelfsweise auf das Nachstreumittel aus einer Eignungsprüfung im Jahr 2012 zurückgegriffen. Dieses Nachstreumittel weist eine mit dem BAST-Prüfzeugnis aus 2005 nahezu übereinstimmende Bezeichnung auf.

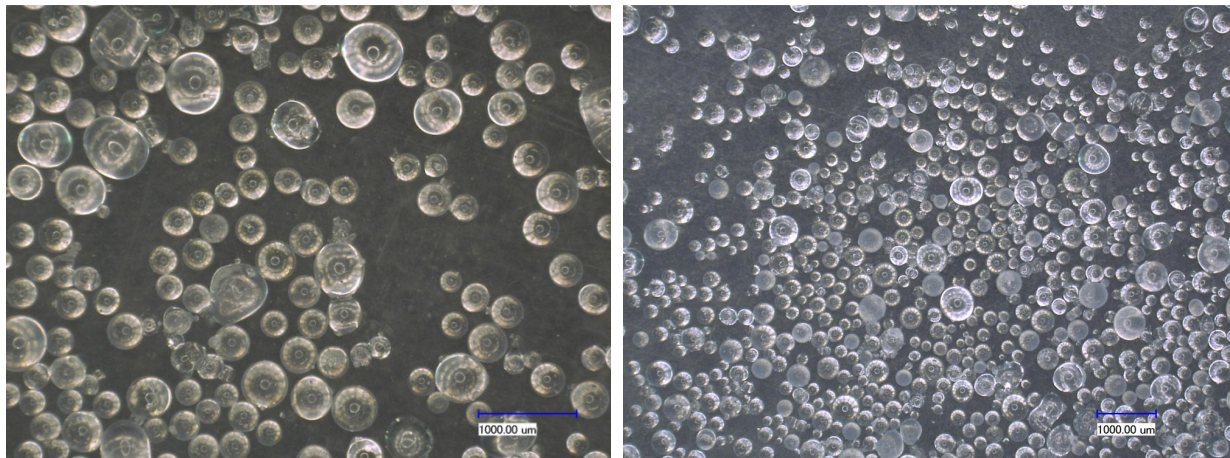


Abbildung B-12: Mikroskopaufnahme des Urmuster (2012, links, 50fache Vergrößerung) und der Probe (rechts, 30fache Vergrößerung) für Probenahme 04

In Übereinstimmung mit dem Urmuster (2012) sind im Nachstreumittel nur Reflexkörper enthalten (s. Abb. B-12). Hinweise auf stoffliche Unterschiede ergab die visuelle Untersuchung nicht.

In den Abbildungen B-13 und B-14 sind die kumulierten Durchgänge sowie die Rückstände der aus dem Vorratsbehälter und dem Schlauch vor der Nachstreueinheit entnommenen Proben dargestellt.

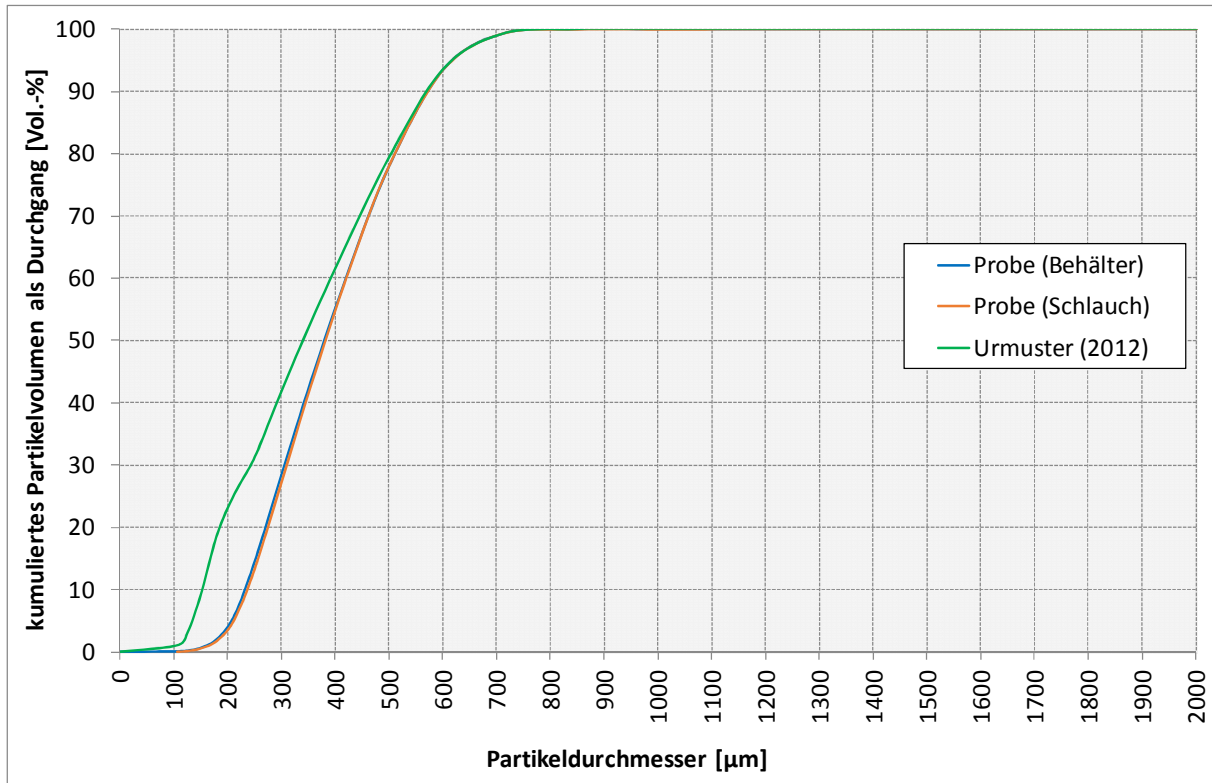


Abbildung B-13: Kumuliertes Partikelvolumen als Durchgang je Partikeldurchmesser für das Urmuster (grün, 2012) und die Proben (blau, rot) für Probenahme 04

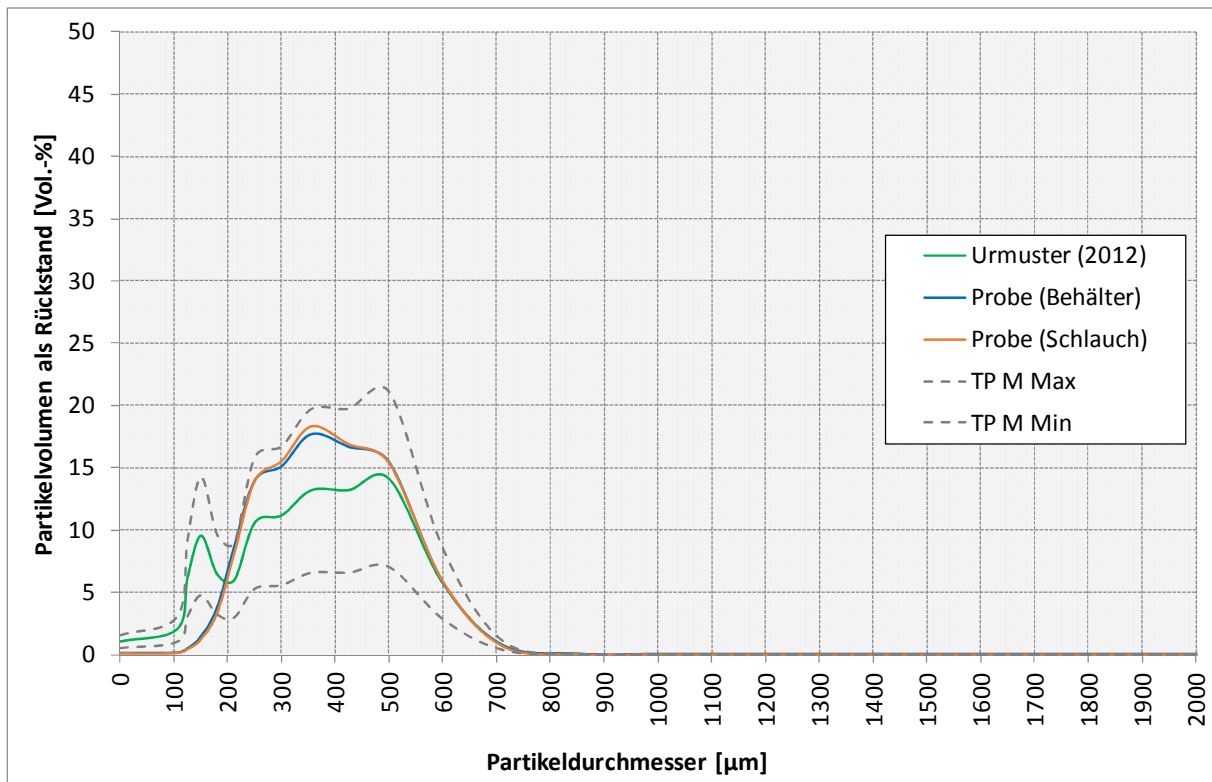


Abbildung B-14: Rückstände je Partikeldurchmesser für das Urmuster (grün, 2012) und die Proben (blau, rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 04

Die Probe stellt ein Reflexkörpergemisch mit Glasperlen von 125 μm bis 600 μm entsprechend der Produktbezeichnung dar. Das Urmuster enthält zudem eine Partikelfraktion (ca. 150 μm bis ca. 180 μm), die in der Probe nicht enthalten ist. Die Anteile an Partikeln mit Durchmessern von 200 μm bis 600 μm fallen bei der Probe größer aus. Abbildung B-14 zeigt, dass beim Urmuster eine zusätzliche Fraktion zwischen 100 und 200 μm enthalten ist.

In der Produktspezifikation sind die Siebe mit Nennöffnungsweiten von 125, 212, 355, 600 und 710 μm genannt. Bei dem Sieb mit der Nennöffnungsweiten 125 μm wurde sowohl bei der Probe aus dem Behälter als auch dem Schlauch eine Abweichung vom Toleranzbereich gemäß den TP M festgestellt.

Auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes wurden sowohl bei den Proben (je 21,9 %) und dem Urmuster (20,6 %) mehr als 5 % der Reflexkörper gemäß den TP M zurückgehalten.

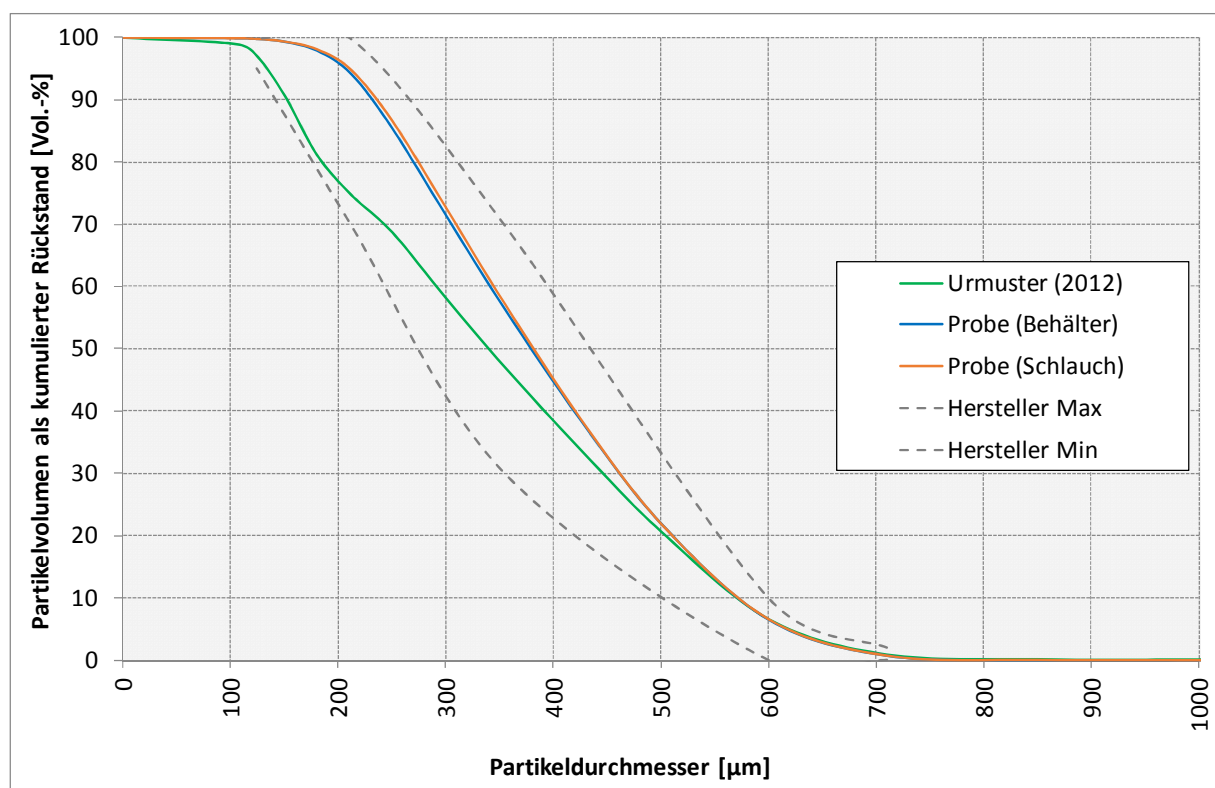


Abbildung B-15: Kumulierter Rückstand je Partikeldurchmesser und Herstellerangaben für Probenahme 04 (Reflexkörper)

In Abbildung B-15 ist entsprechend EN 1423 der kumulierte Rückstand in Abhängigkeit des Partikeldurchmessers für die Proben dargestellt. Zudem ist der Toleranzbereich des Herstellers für das Produkt dargestellt. Sowohl die Proben als auch das Urmuster verlaufen innerhalb des Toleranzbereichs. Dabei weicht der ermittelte Rückstand zwischen Probe und Urmuster teilweise um bis zu 15 Prozentpunkte bei den Reflexkörpern mit einem Durchmesser < 500 μm voneinander ab.

Signifikante Unterschiede zwischen den Proben aus dem Schlauch und dem Vorratsbehälter wurden nicht festgestellt.

Die Bezeichnung des Nachstreumittels im BAST-Prüfzeugnis, in der zur Eignungsprüfung eingereichten Produktspezifikation und auf dem bei der Applikation verwendeten Gebinde sind nicht einheitlich.

Probenahme 05

Gemäß BAST-Prüfzeugnis für das applizierte Markierungssystem ist ein Nachstreumittelgemisch aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln aus Korund im Verhältnis 3 : 1 zu verwenden. Laut Kennzeichnung der Gebinde wurde ein Produkt mit identischer Bezeichnung eingesetzt.

Ein Urmuster für die Eignungsprüfung aus dem Jahr 2005 existiert nicht.

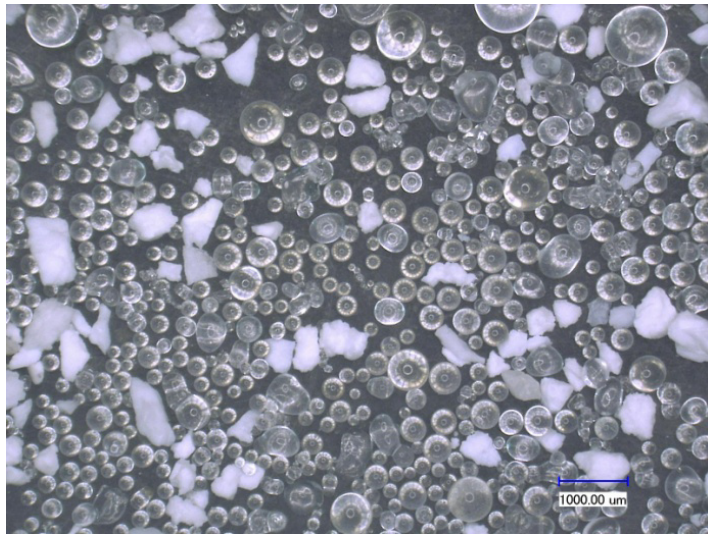


Abbildung B-16: Mikroskopaufnahme der Probe (30fache Vergrößerung) für Probenahme 05

In der Probe sind neben den Reflexkörpern ausschließlich intransparente, weiße Griffigkeitsmittel – möglicherweise Minigrain (Cristobalit) oder Keramik – enthalten (s. Abb. B-16). Dies stellt eine Abweichung dar, da laut BAST-Prüfzeugnis das transparente Griffigkeitsmittel Korund einzusetzen ist.

In der Abbildung B-17 ist die kumulative Darstellung des Partikelvolumens der Reflexkörper der Probe (rot) den Herstellertoleranzen gegenübergestellt. Die bei der Probe ermittelten Durchgänge befinden sich für die vom Hersteller angegebenen Durchmesser innerhalb des vorgegebenen Bereichs.

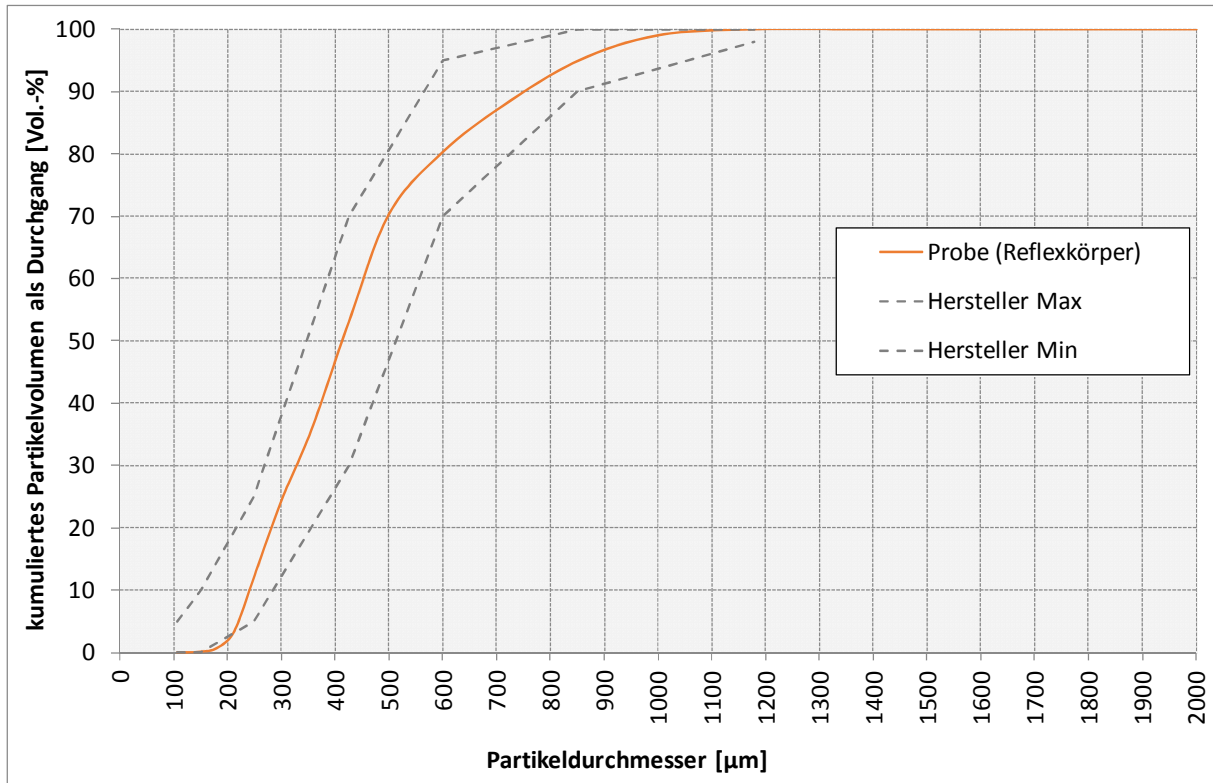


Abbildung B-17: Kumuliertes Partikelvolumen der Reflexkörper (rot) als Durchgang für Probenahme 05 sowie Herstellertoleranzen für Reflexkörper (grau)

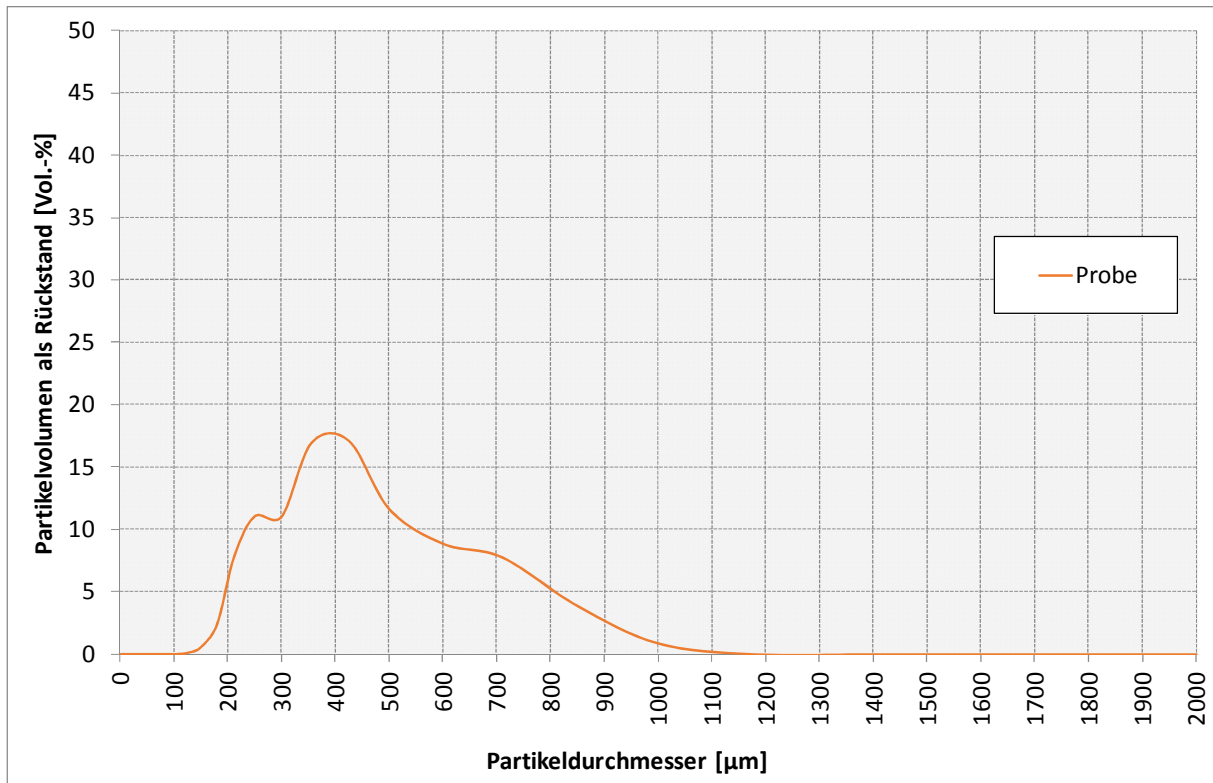


Abbildung B-18: Rückstände je Partikeldurchmesser für die Probe (rot) für Probenahme 05

Die Abbildung B-18 zeigt die ermittelten Einzelrückstände der gesamten Probe aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln je Durchmesser.

Da kein Urmuster vorlag, konnte eine Bewertung der Einhaltung der Toleranzen gemäß TP M an die Sieblinie nur bezüglich der Anforderung an den kumulierten Rückstand auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes vorgenommen werden. Die kumulierten Rückstände lagen mit 12,4 % bei der Probe über dem Mindestwert von 5 %.

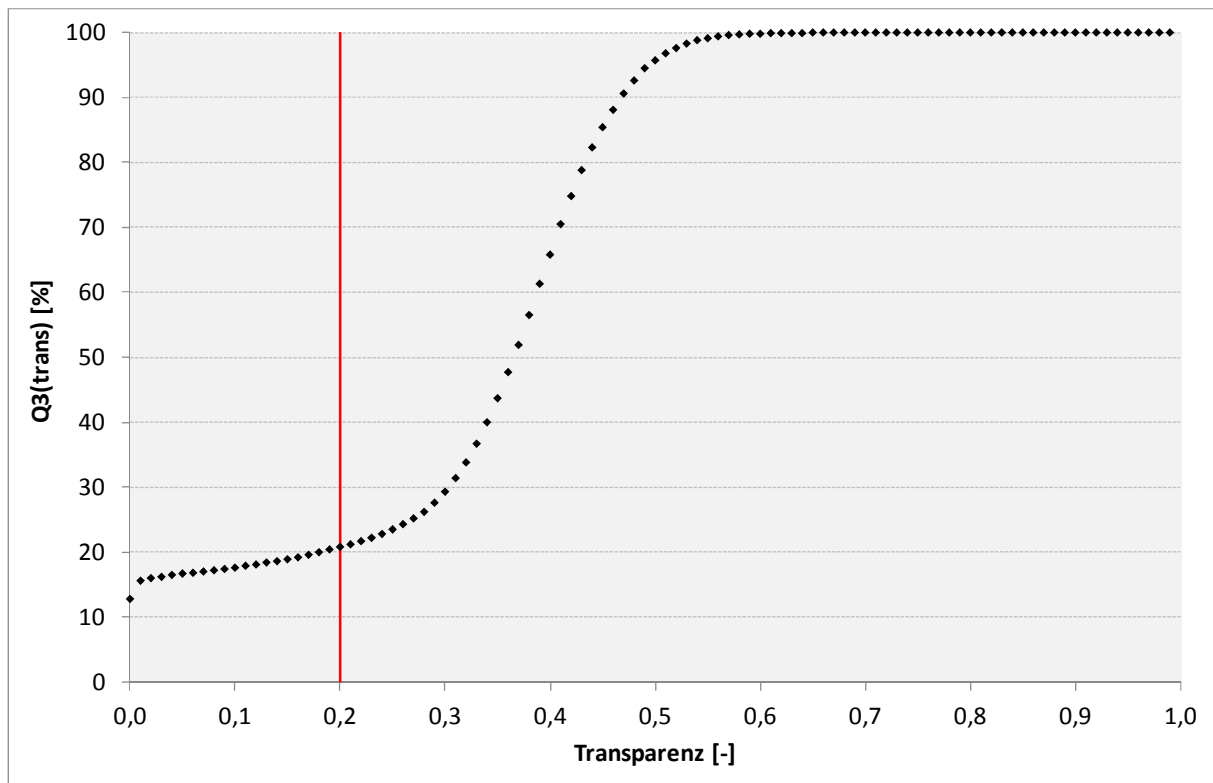


Abbildung B-19: Anteil der Griffigkeitsmittel im Nachstreumittelgemisch für Probenahme 05

In Abbildung B-19 ist das kumulative Partikelvolumen (Q_3 = kumuliertes Partikelvolumen, Trans = Transparenz) in Abhängigkeit von der Transparenz der Partikel dargestellt. Bei einem Schwellenwert für die Transparenz von 0,2 ergibt sich ein Anteil an Griffigkeitsmitteln von 20,8 Vol.-%. Laut BAST-Prüfzeugnis sind Griffigkeitsmittel im Verhältnis 3 : 1 im Nachstreumittelgemisch enthalten, d. h. der Anteil der Griffigkeitsmittel sollte 25 Vol.-% betragen. Bei der Applikation wurde folglich ein Nachstreumittelgemisch mit einem um 4 Prozentpunkte zu geringen Anteil an Griffigkeitsmitteln appliziert. Ein Vergleich mit dem Urmuster ist aufgrund des fehlenden Rückstellmusters (Eignungsprüfung vor 2008) nicht möglich.

Probenahme 06

Gemäß BAST-Prüfzeugnis besteht das zu applizierende Nachstreumittel aus Reflexkörpern ohne Griffigkeitsmittel. Bei der Applikation wurde ein Nachstreumittel mit einer vom BAST-Prüfzeugnis abweichenden Bezeichnung eingesetzt.

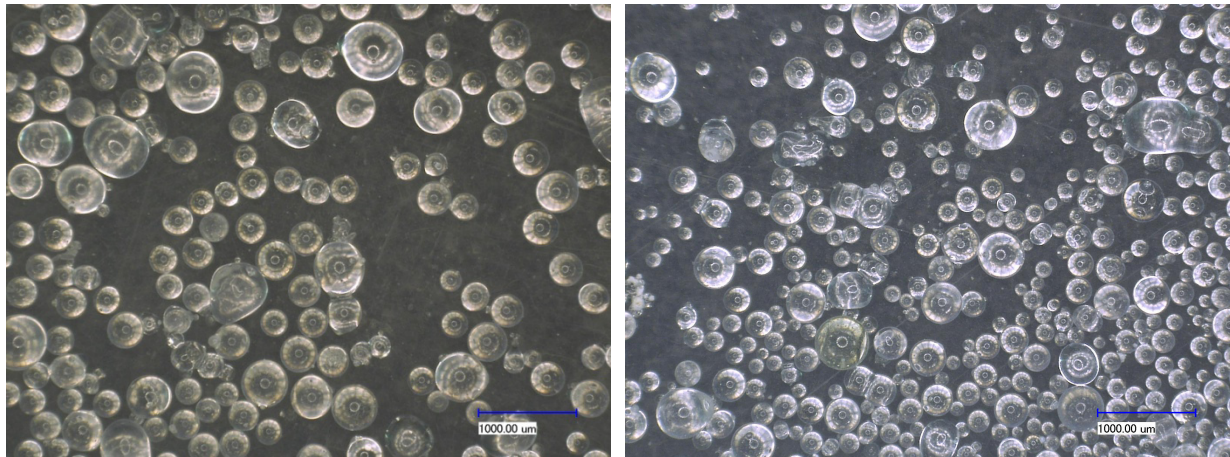


Abbildung B-20: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links, 50fache Vergrößerung) und der Probe (rechts, 30fache Vergrößerung) für Probenahme 06

Da ein Urmuster des Nachstreumittels aus der Eignungsprüfung im Jahr 2005 nicht vorhanden war, wurde behelfsweise auf das Urmuster einer Eignungsprüfung im Jahr 2012 zurückgegriffen. Die Produktbezeichnung des Nachstreumittels von 2012 stimmt nahezu überein mit der Bezeichnung des Nachstreumittels aus der Eignungsprüfung von 2005.

Die Abbildung B-20 zeigt, dass in Übereinstimmung mit dem Prüfzeugnis nur Reflexkörper in der Probe vorhanden waren. Hinweise auf stoffliche Unterschiede lieferte die visuelle Analyse nicht.

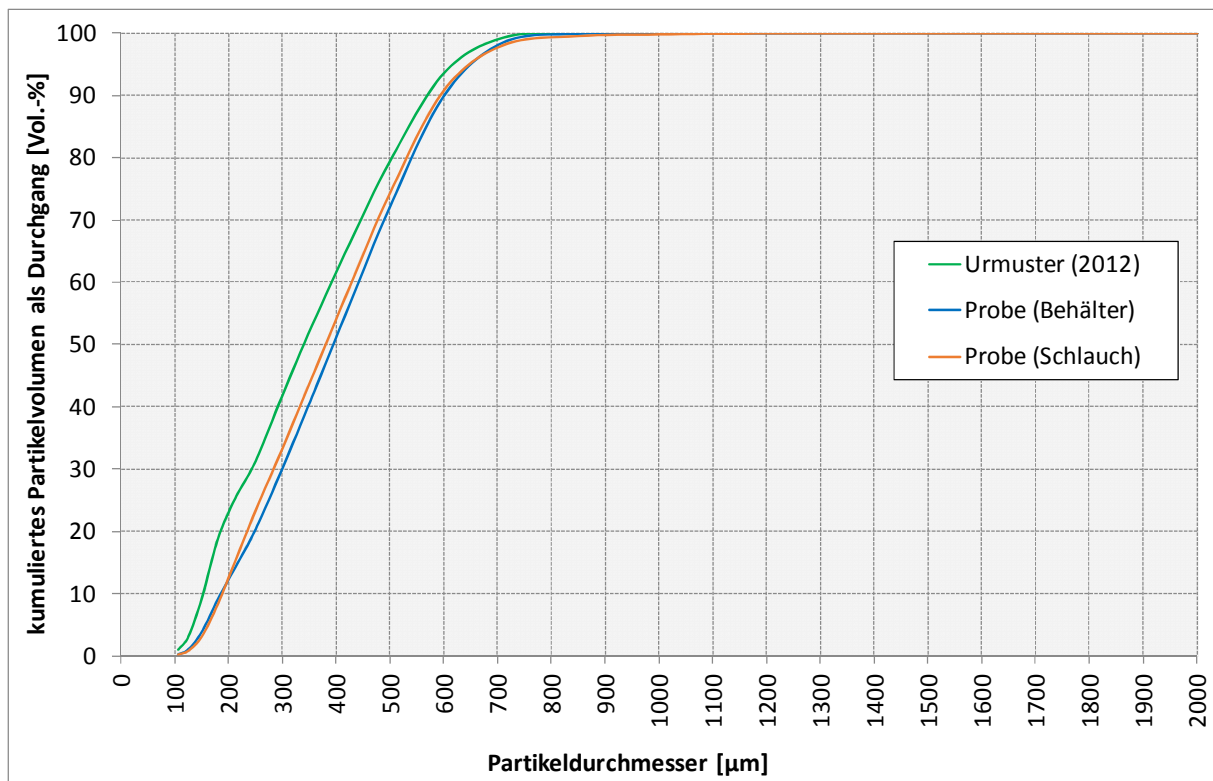


Abbildung B-21 :Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün, 2012) und der Proben (blau, rot) als Durchgang für Probenahme 06

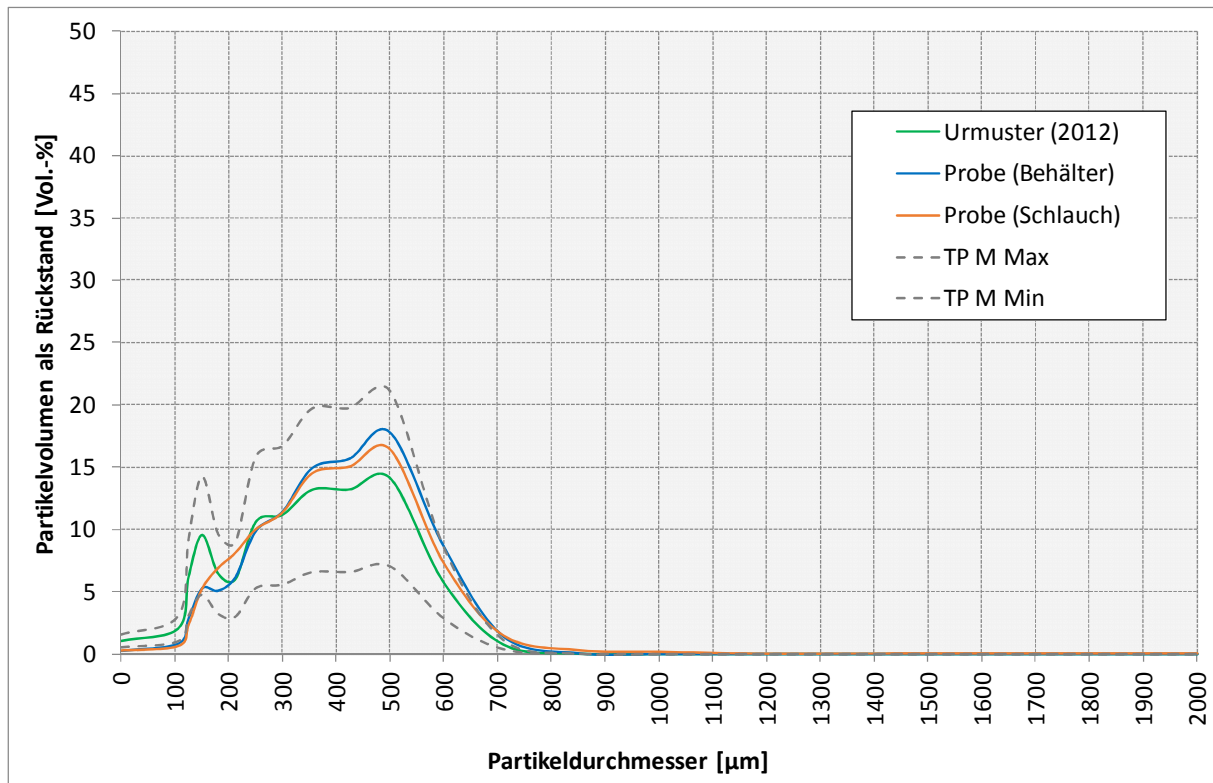


Abbildung B-22: Rückstände je Partikeldurchmesser für das Urmuster (grün, 2012) und die Proben (blau, rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 06

Gemäß Produktbezeichnung handelt es sich um Gemische aus Partikeln mit Durchmessern von 125 bis 600 µm. Das Urmuster weist eine zusätzliche Fraktion im Bereich 100 bis 200 µm auf und die Anteile an Partikeln mit Durchmessern von 300 µm bis 700 µm sind beim Urmuster geringer (s. Abb. B-21 und B-22).

In der Produktspezifikation sind die Siebe mit Nennöffnungsweiten von 125, 212, 355, 600 und 710 µm genannt. Abweichungen vom Toleranzbereich gemäß den TP M wurden bei den Sieben 125, 600 und 710 µm Abweichungen festgestellt (s. Abb. B-22).

Die Anforderung gemäß TP M an den kumulierten Rückstand auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes wurde bei den Proben (27,8 %; 25,6 %) und dem Urmuster erfüllt (20,6 %).

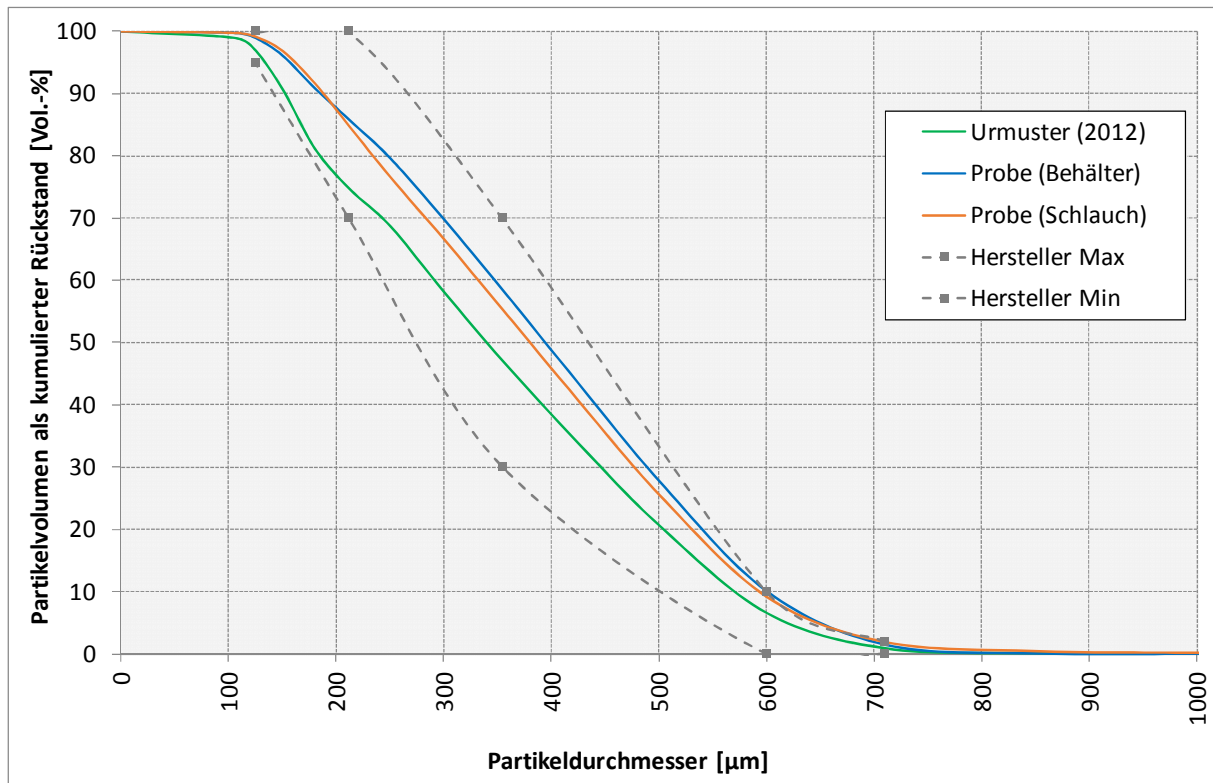


Abbildung B-23: Kumulierter Rückstand des Urmusters (2012), der Proben sowie Herstellertoleranzbereich für Probenahme 06

Die Verteilungen des Urmusters (2012) und der Proben befinden sich vollständig im zulässigen Bereich gemäß Produktspezifikation (s. Abb. B-23).

Zwischen den Partikelgrößenverteilungen der aus dem Schlauch und dem Vorratsbehälter entnommenen Proben wurden nur geringfügige Unterschiede festgestellt.

Probenahme 07

Laut dem BAST-Prüfzeugnis von 2008 handelt es sich bei dem geprüften System um ein Nachstreumittel bestehend aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln aus Keramik im Verhältnis 5 : 1. Die Produktbezeichnung des vor Ort eingesetzten Nachstreumittels weicht laut Beschriftung des Gebindes bei identischem Hersteller vom maßgebenden BAST-Prüfzeugnis ab.

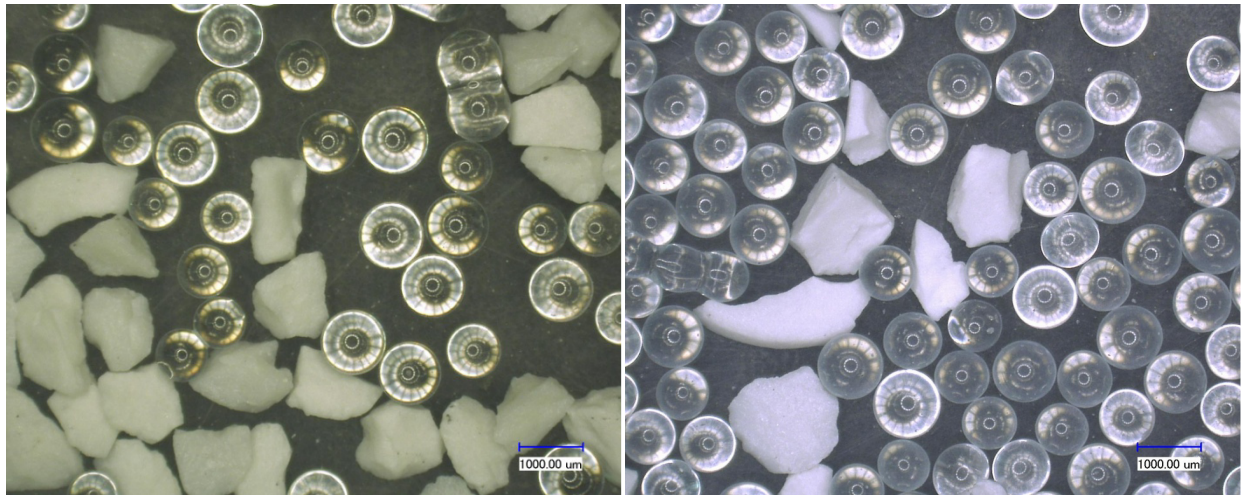


Abbildung B-24: Urmuster zu 2014 (links) und Probe aus Schlauch, 30fache Vergrößerung (rechts) für Probenahme 07

Die Mikroskop-Aufnahme zeigt, dass die Probe intransparente, weiße Griffigkeitsmittel (vermutlich Keramik) und Reflexkörper enthält (s. Abb. B-24). Das Urmuster des Nachstreumittels wurde nach der videobasierten Analyse versehentlich entsorgt. Behelfsweise wurde ein Nachstreumittel aus einer BAST-Eignungsprüfung im Jahr 2014 verwendet, das sich laut Bezeichnung nur durch die Beschichtung unterscheidet. Mikroskopaufnahmen vom Urmuster aus dem Jahr 2014 sind in der Abbildung B-24 (links) dargestellt. Die Untersuchung ergab trotz abweichender Kennzeichnung des Gebindes keine Hinweise auf stoffliche Unterschiede zwischen der Probe und dem Urmuster.

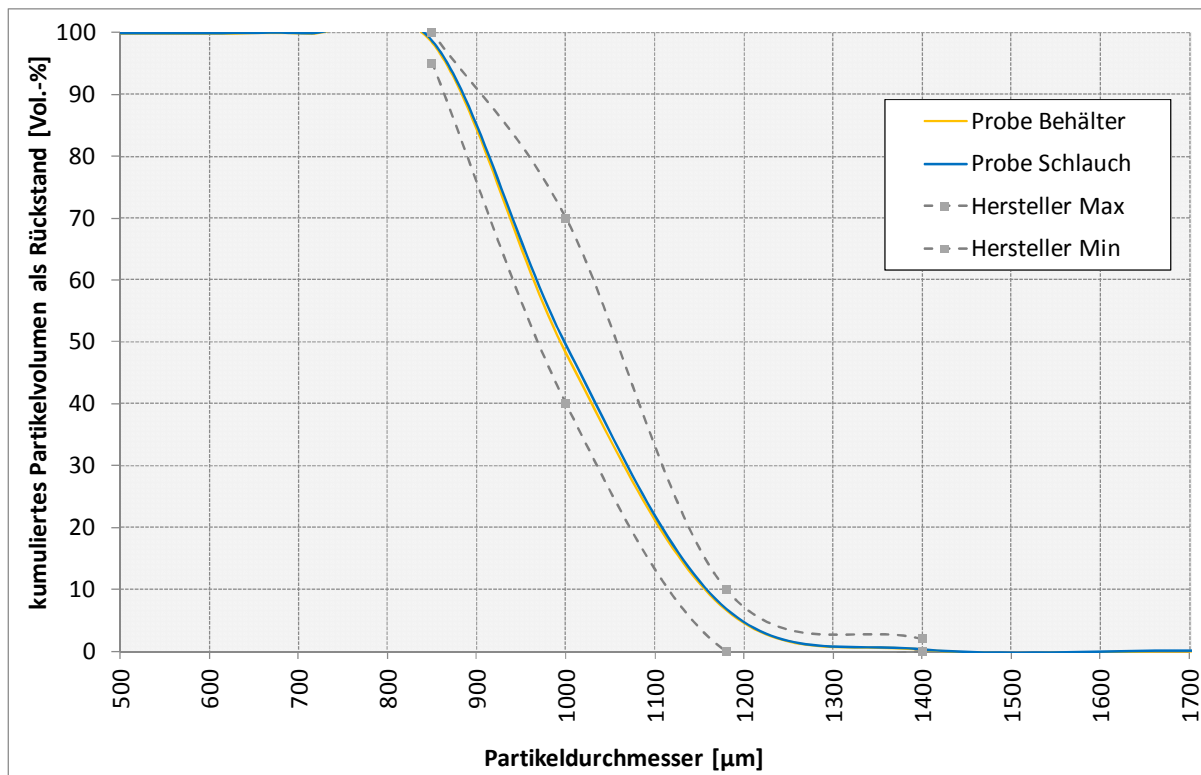


Abbildung B-25: Kumuliertes Partikelvolumen der Proben (nur Reflexkörper) aus dem Schlauch (orange) und aus dem Behälter (blau) als Rückstand sowie Herstellertoleranzen für Probenahme 07

In der Abbildung B-25 sind die Partikelgrößenverteilungen der Reflexkörper als kumulierter Rückstand dargestellt. Die Verteilungen der Proben aus dem Schlauch und dem Behälter weisen keine signifikanten Abweichungen auf und befinden sich innerhalb des Toleranzbereichs gemäß Produktspezifikation. Die Verteilung der Reflexkörper des Urmusters konnte nicht bestimmt werden.

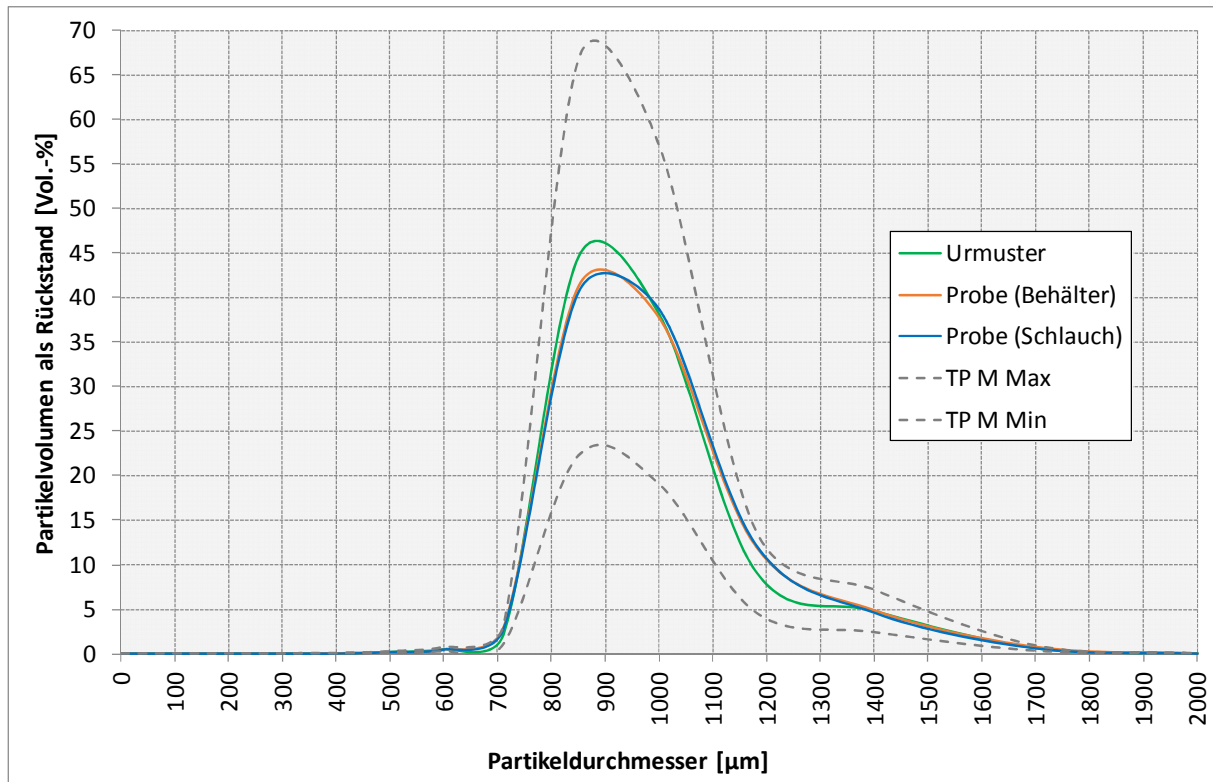


Abbildung B-26: Rückstände je Partikeldurchmesser für das Urmuster (grün) und die Proben (blau, rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 07

Die ermittelten Partikelgrößenverteilungen weisen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung auf (s. Abb. B-25). Unabhängig vom Entnahmeort (Schlauch, Vorratsbehälter) liegen die Proben für die vom Hersteller in der Spezifikation genannten Siebe (850, 1000, 1180 und 1400 µm) innerhalb des Toleranzbereichs gemäß TP M (s. Abb. B-26).

Der Mindestrückstand auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes von 5 % gemäß TP M konnte nur bei den Proben überprüft werden. Hier ergaben sich keine Unterschreitungen (vorhandener Rückstand: 49,4 % und 48,2 %).

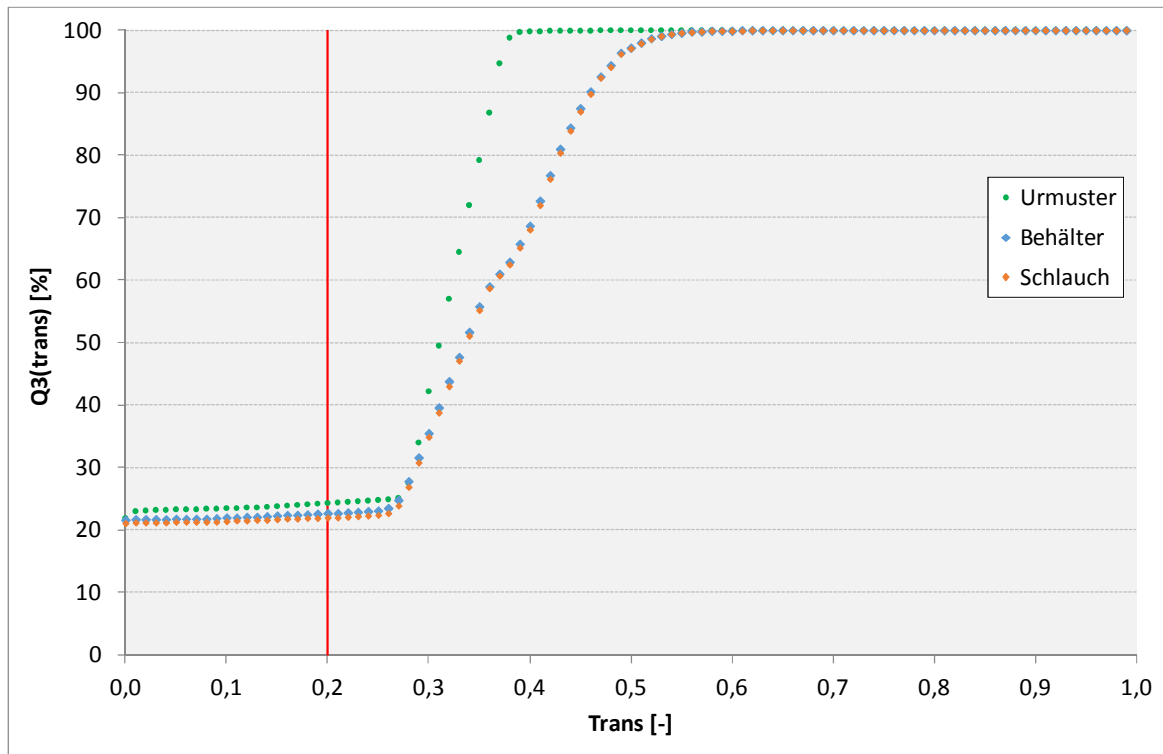


Abbildung B-27: Anteil der Griffigkeitsmittel im Nachstreumittelgemisch für die Proben und das Urmuster für Probenahme 07

Wie Abbildung B-27 zeigt, unterscheidet sich der Anteil an Griffigkeitsmitteln zwischen der Probe und dem Urmuster um etwa zwei Prozentpunkte: Bei der Probe wurde im Mittel (Schlauch/Behälter) ein Anteil von 22,4 %, bei dem Urmuster ein Anteil von 24,3 % festgestellt. Beide Anteile unterscheiden sich maßgeblich vom BAST-Prüfzeugnis, das ein Gemisch aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln im Verhältnis 5 : 1 (Anteil Griffigkeitsmittel = 16,7 %) fordert.

Probenahme 08

Laut BAST-Prüfzeugnis wurde bei der Eignungsprüfung das ausschließlich ein aus Reflexkörpern bestehende Nachstreumittel eingesetzt. Vor Ort konnte die Gebinde-Kennzeichnung nicht erfasst werden.

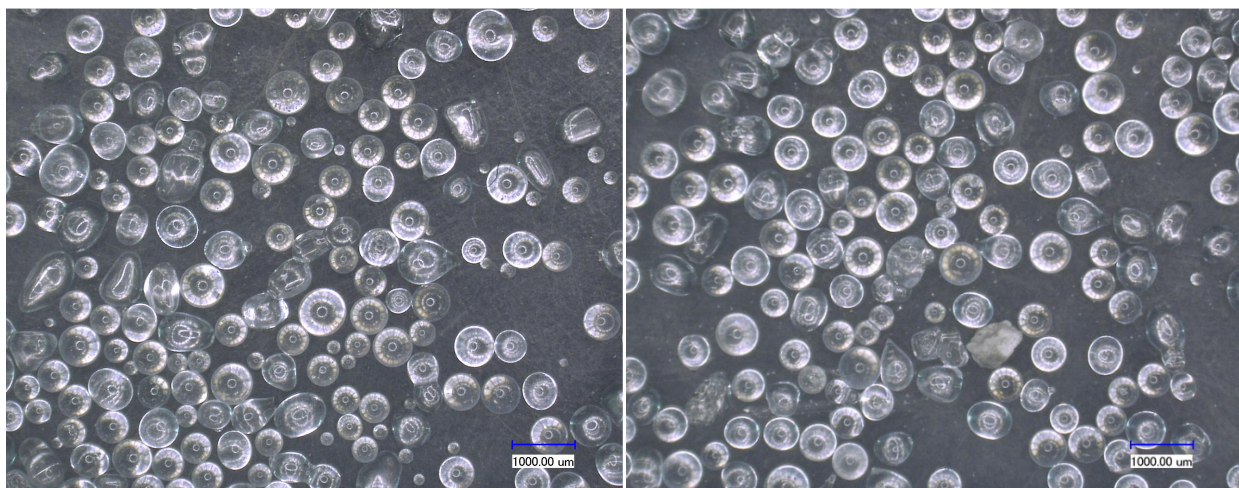


Abbildung B-28: Nachstreumittel Urmuster (links) und Probe (rechts) bei 30facher Vergrößerung für Probenahme 08

Die visuelle Untersuchung mit dem Mikroskop ergab keine Hinweise auf stoffliche Abweichungen (s. Abb. B-28).

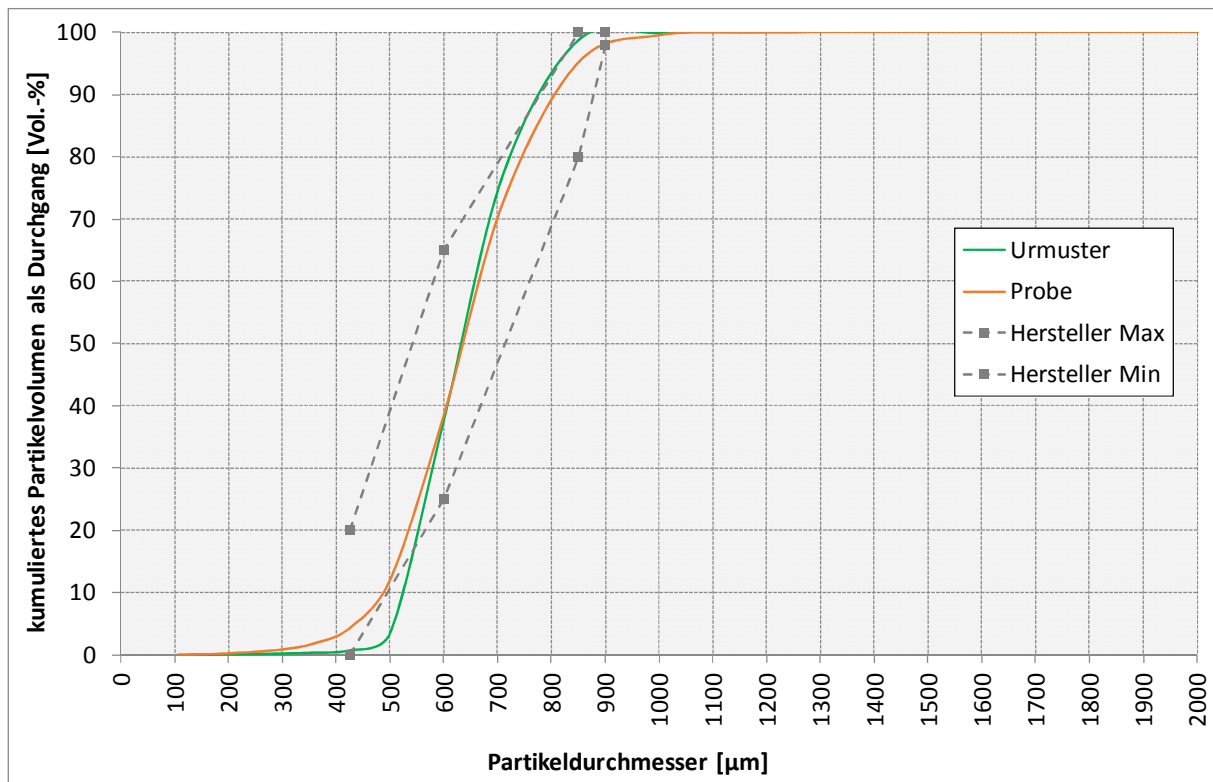


Abbildung B-29: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie Produktspezifikationen als Durchgang für Probenahme 08

Die Abbildung B-29 zeigt die kumulierten Durchgänge für die Probe, das Urmuster sowie die Produktspezifikation des Herstellers.

Die ermittelten kumulierten Durchgänge des für die Eignungsprüfung eingesetzten Reflexkörpergemisches und der Probe liegen für die vom Hersteller angegebenen Siebgrößen (425, 600, 850 und 900 μm) innerhalb des Toleranzbereichs. Wie bereits bei Probenahme 02 erläutert, entspricht die zur Eignungsprüfung im Jahr 2011 eingereichte Produktspezifikation des Nachstreumittels nicht DIN EN 1423:2013. Eine Kontrolle des Gebindes war nicht möglich.

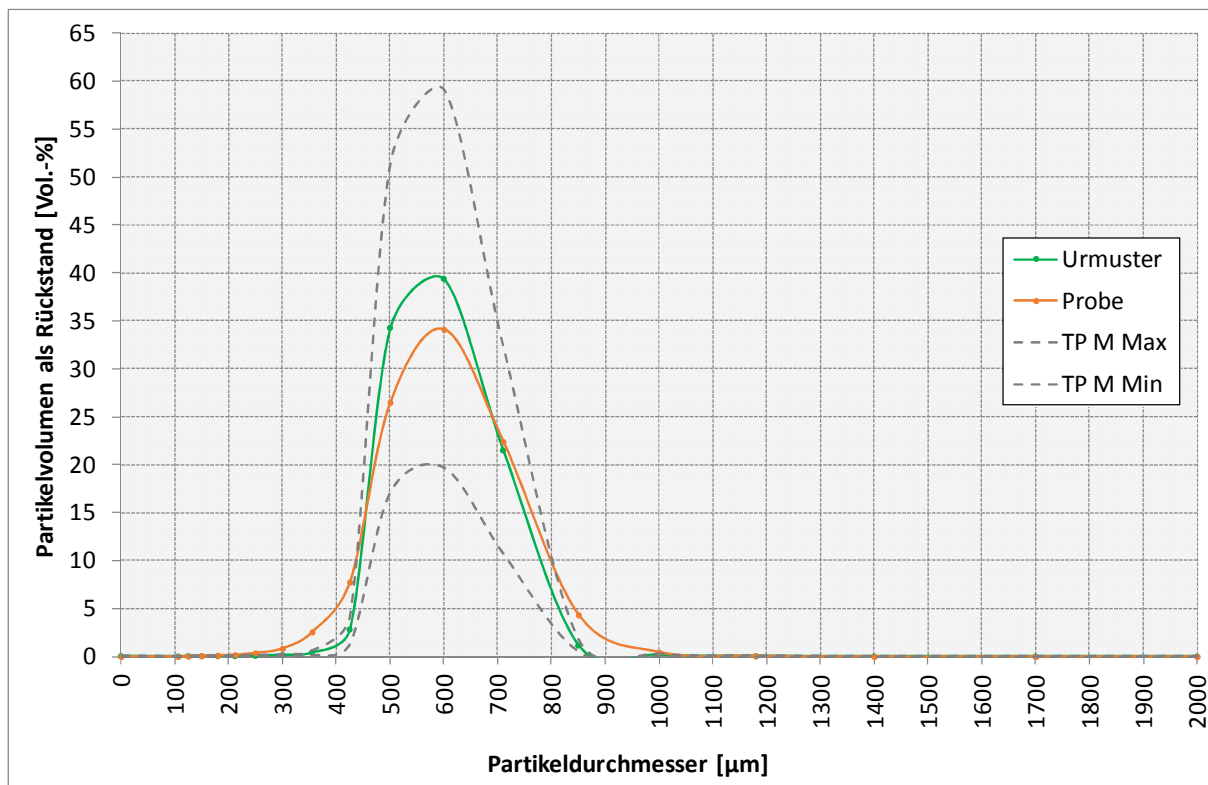


Abbildung B-30: Rückstände je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 08

Die Probe kann anhand der ermittelten Verteilung als Gemisch 425 bis 850 µm eingestuft werden und entspricht damit der Produktbezeichnung (s. Abb. B-30). Der Vergleich zwischen Probe und Urmuster zeigt folgende Abweichungen: Die Anteile an Reflexkörpern mit Durchmessern von 500 µm bis 710 µm sind beim Urmuster höher, während es unter- und oberhalb dieses Bereichs umgekehrt verhält.

Vom Hersteller werden in der für die Eignungsprüfung eingereichten Produktspezifikation die Siebe 425, 600, 850 und 900 µm genannt. Da das Sieb mit der Öffnungsweite von 900 µm nicht im maßgebenden Siebsatz R 40/3 enthalten ist, wird hier behelfsweise das Sieb mit der Öffnungsweite 1000 µm betrachtet. Bei den Sieben 425, 850 und 1000 µm wurden bei der Probe Abweichungen vom Toleranzbereich gemäß den TP M festgestellt.

Sowohl bei der Probe (27,3 %) als auch dem Urmuster (22,8 %) lagen die ermittelten kumulierten Rückstände auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsiebes bei mehr als 5 % gemäß den TP M.

Probenahme 09

Für den applizierten Markierungsstoff existiert kein BAST-Prüfzeugnis. Ein Abgleich zwischen der Bezeichnungen des Nachstreumittel auf dem Gebinde und dem BAST-Prüfzeugnis war somit nicht möglich. Die Probe wird im Folgenden behelfsweise einem Nachstreumittel desselben Herstellers gegenübergestellt, das 2012 für eine Eignungsprüfung eingesetzt. Die in der Bezeichnung genannten Siebe dieses Nachstreumittels stimmen mit den auf dem Gebinde genannten Sieben überein.

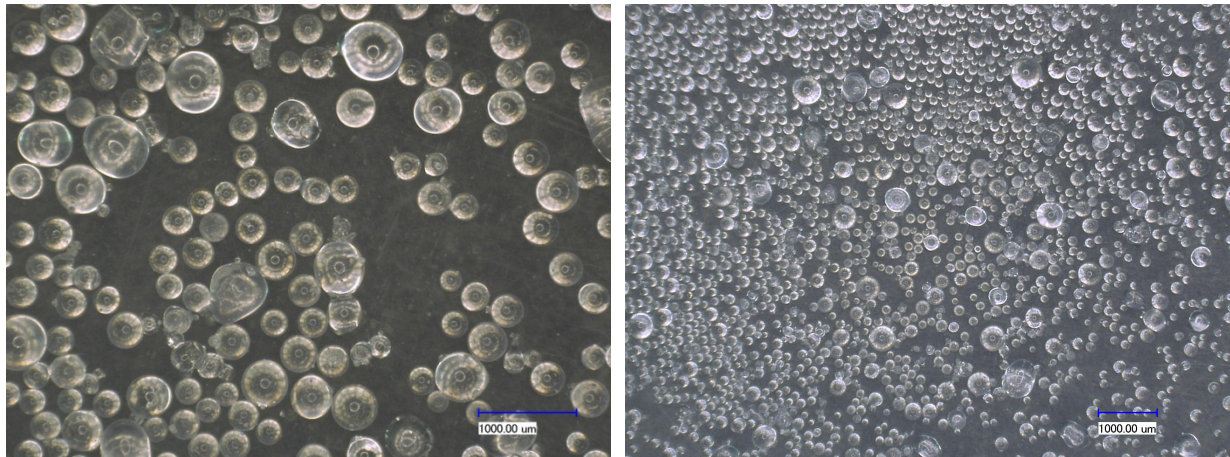


Abbildung B-31: Mikroskopaufnahme des Urmusters (links, 50fache Vergrößerung, 2012) und der Probe (rechts, 30fache Vergrößerung) für Probenahme 09

Nach visueller Untersuchung mit dem Mikroskop handelt es sich um ein Nachstreumittel aus Reflexkörpern ohne Griffigkeitsmittel (s. Abb. B-31). Die Aufnahmen deuten nicht auf stoffliche Differenzen zwischen dem Urmuster (2012) und der Probe hin.

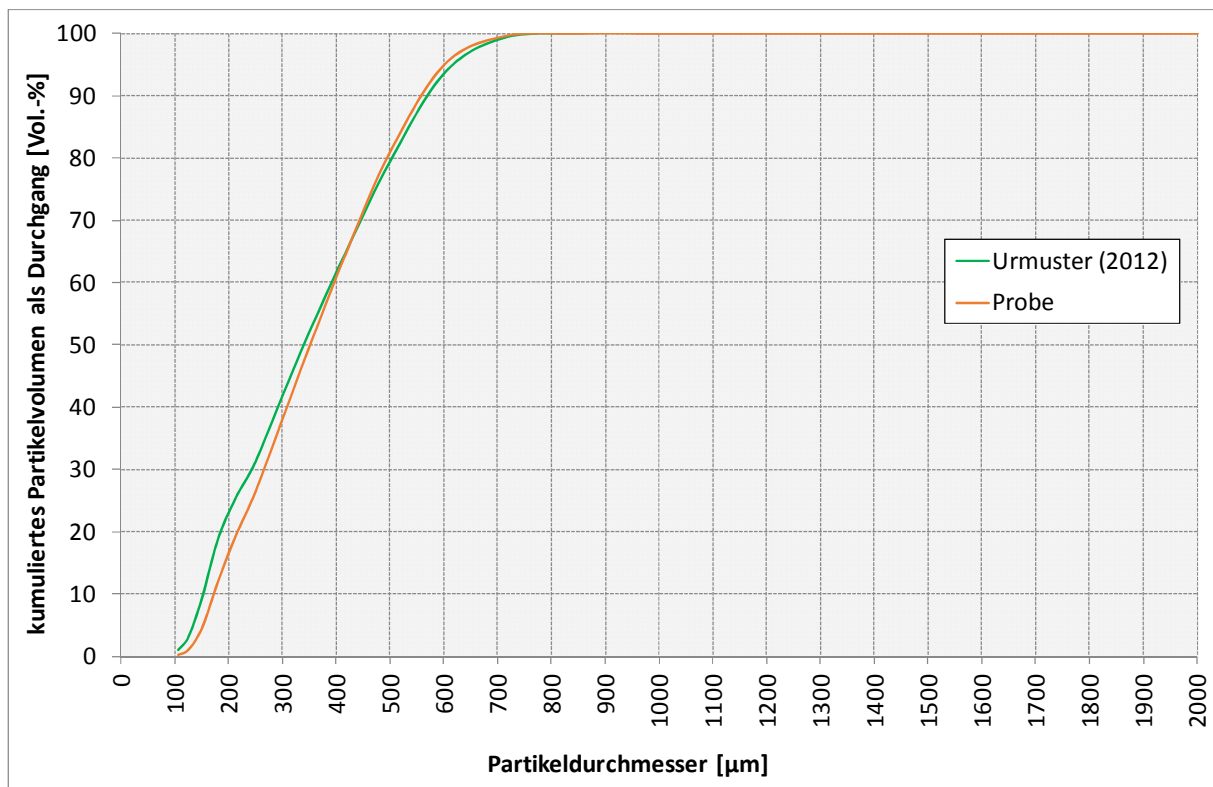


Abbildung B-32: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot) für Probenahme 09

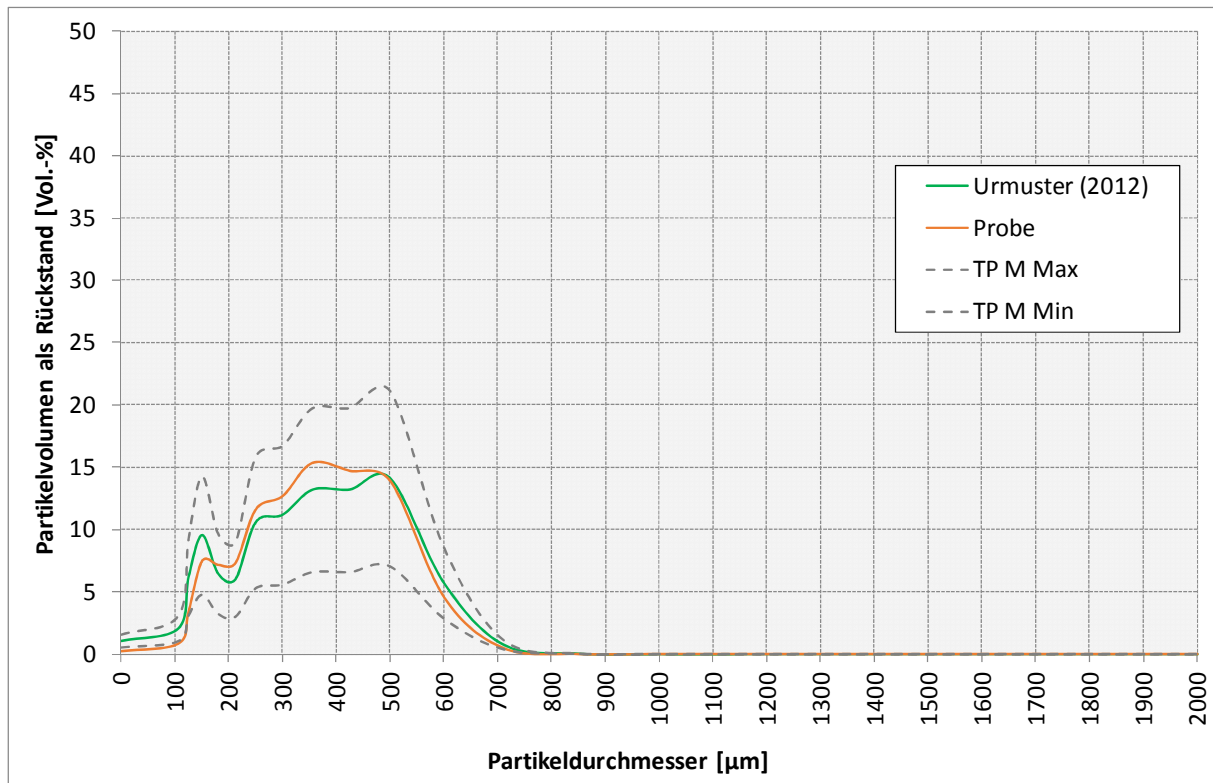


Abbildung B-33: Rückstände je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 09

Die Abweichungen zwischen den Partikelverteilungen fallen wie in den Abbildungen B-32 und B-33 dargestellt vergleichsweise gering aus.

Hinsichtlich der vom Hersteller in der Produktspezifikation genannten Siebe mit Öffnungsweiten von 125, 212, 355, 600 und 710 μm wurden keine Abweichungen vom zulässigen Toleranzbereich nach den TP M (s. Abb. B-33) festgestellt.

Auch der Anteil des kumulierten Rückstands liegt mit 20,6 % und 18,9 % bei einem Durchmesser von 500 μm deutlich oberhalb des Mindestwertes von 5 % gemäß den TP M.

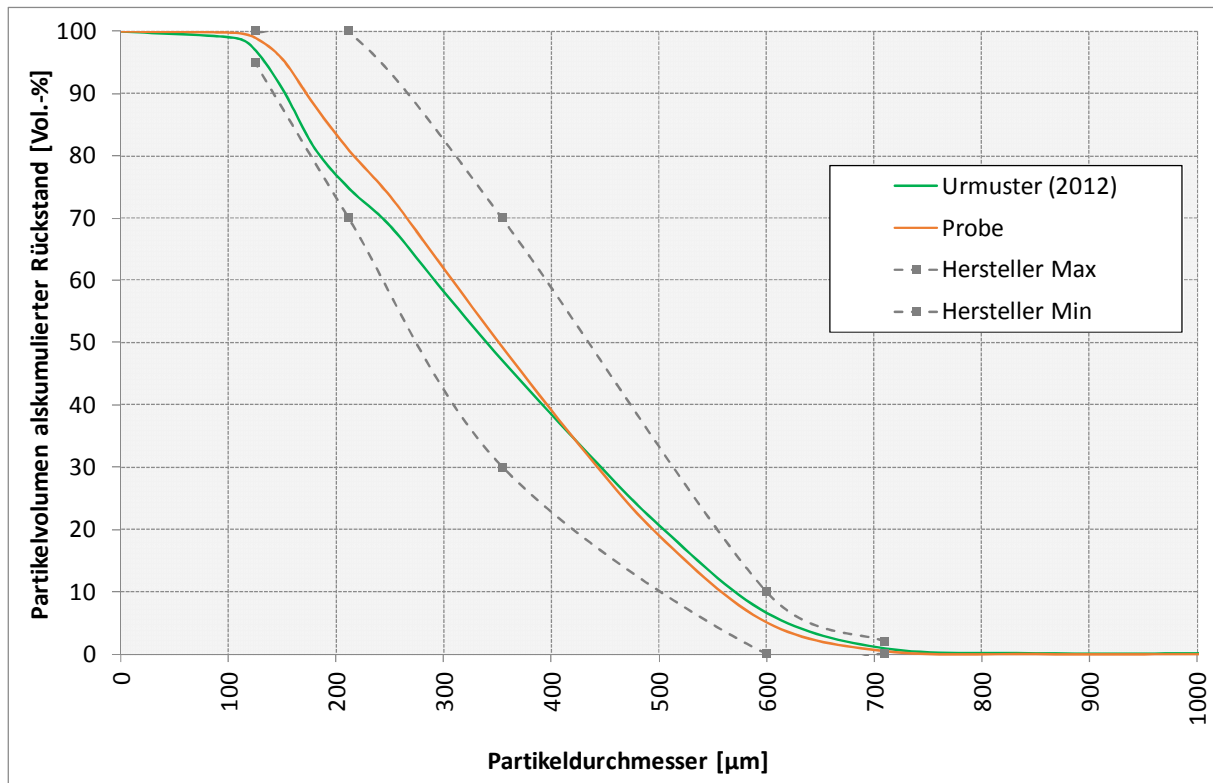


Abbildung B-34: Kumulierter Rückstand des Urmusters, der Probe sowie Herstellertoleranzbereich für Probenahme 09

Der in Abbildung B-34 dargestellte Verlauf des kumulierten Rückstands zeigt, dass sowohl die Probe als auch das Urmuster innerhalb des Toleranzbereichs gemäß Produktspezifikation liegen.

Probenahme 10

Zwischen der Bezeichnung des Nachstreumittels auf dem Gebinde und dem BAST-Prüfzeugnis gibt es eine Abweichung hinsichtlich des unteren Nennsieves.

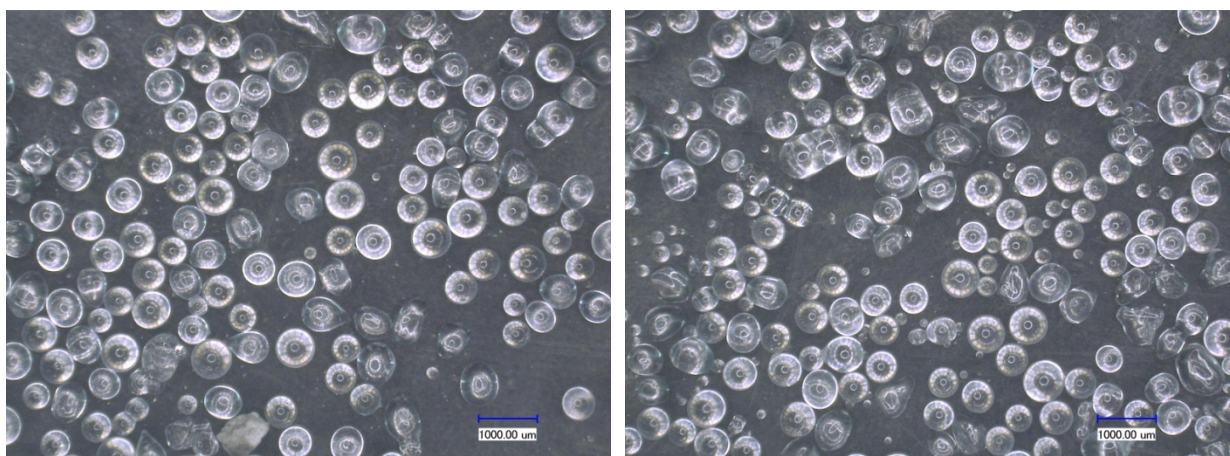


Abbildung B-35: Mikroskopaufnahmen des Urmusters (links) und der Probe (rechts) für Probenahme 10

Die Mikroskopaufnahmen lassen auf keine stofflichen Abweichungen schließen (s. Abb. B-35).

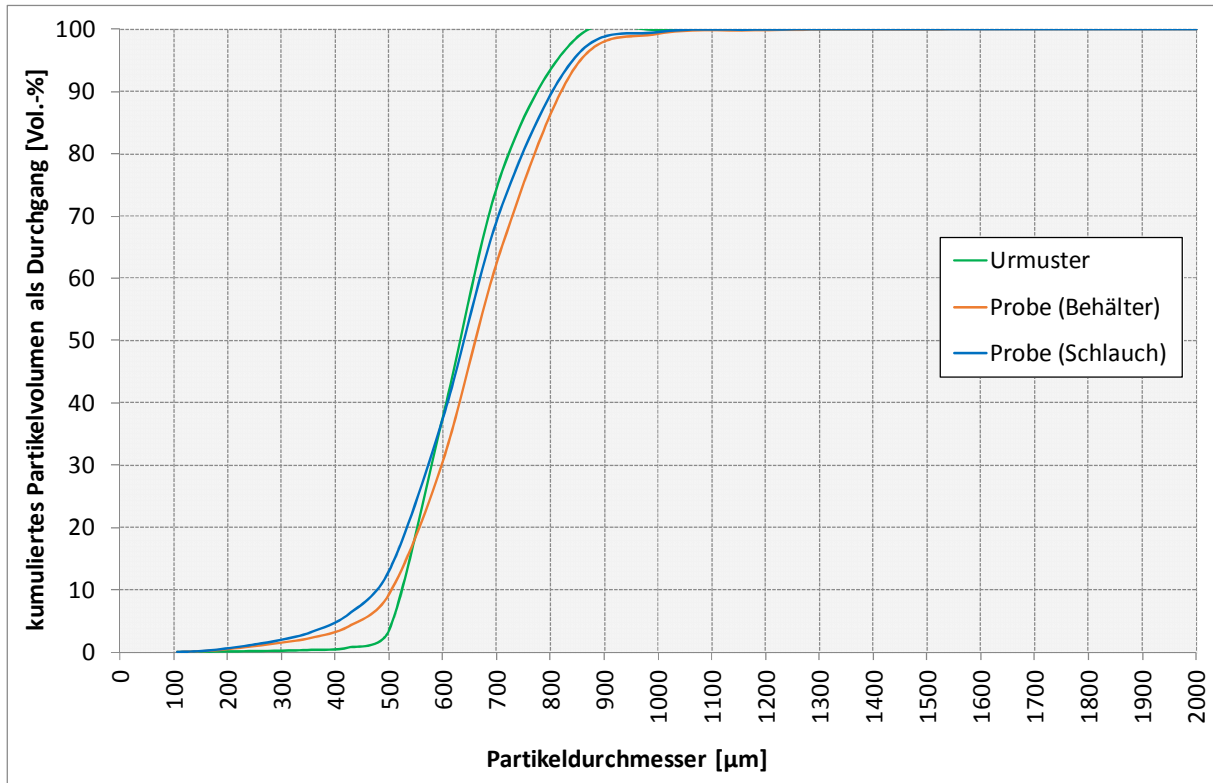


Abbildung B-36: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot, blau) als Durchgang für Probenahme 10

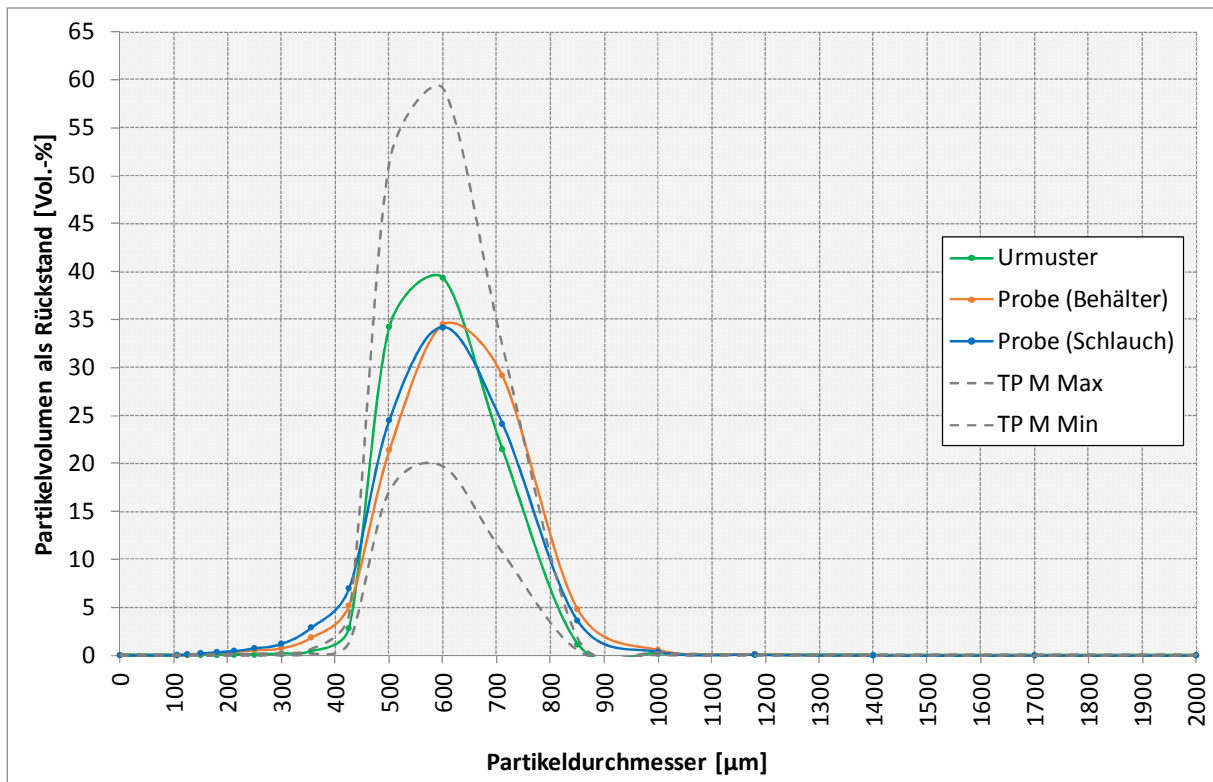


Abbildung B-37: Rückstände je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot, blau) sowie Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 10

Das kumulierte Partikelvolumen ist in Abbildung B-36 dargestellt. Entsprechend der vom Hersteller genannten oberen und unteren Nennsieve des Nachstreumittels weisen die Reflexkörper mehrheitlich Durchmesser von 400 bis 850 μm auf.

Die Kurven weichen bei den ermittelten Rückständen teilweise um mehr als 10 Prozentpunkte voneinander ab (s. Abb. B-37). Reflexkörper mit einem Durchmesser von 500 bis 600 μm sind im Urmuster mit einem Anteil von 34 % enthalten, während es bei den Proben zwischen 21 bis 25 % sind. Die Abbildung B-37 zeigt zudem eine leichte Verschiebung der Kurve der Probe in Richtung größerer Durchmesser, was als Bestätigung der abweichenden unteren Nennsieve (Urmuster: 400 μm , Probe: 425 μm) gewertet werden kann.

In der Spezifikation für das Produkt sind die Siebe mit den Nennöffnungsweiten 425, 600, 850 und 900 μm genannt. Wie zuvor erläutert, wird hier Bezug auf das Sieb mit der Öffnungsweite von 1000 μm genommen (s. Probenahme 08). Bei den Sieben 425, 850 und 1000 μm befinden sich die Rückstände beider Proben außerhalb des zulässigen Bereichs nach den TP M.

Die Kurven der Proben verlaufen im Bereich ≤ 425 und ≥ 850 μm außerhalb des Toleranzbereichs nach TP M. Hinsichtlich der kumulierten Rückstände auf dem Sieb unterhalb des oberen Nennsieves wurden keine Abweichungen festgestellt. Bei der Probe wurde ein Anteil von 28,2 % ermittelt, beim Urmuster ein Anteil von 22,8 %.

Die Abweichungen der Rückstände zwischen der aus dem Schlauch und dem Vorratsbehälter entnommenen Proben bezogen auf die Rückstände betragen bis zu ca. 5 %.

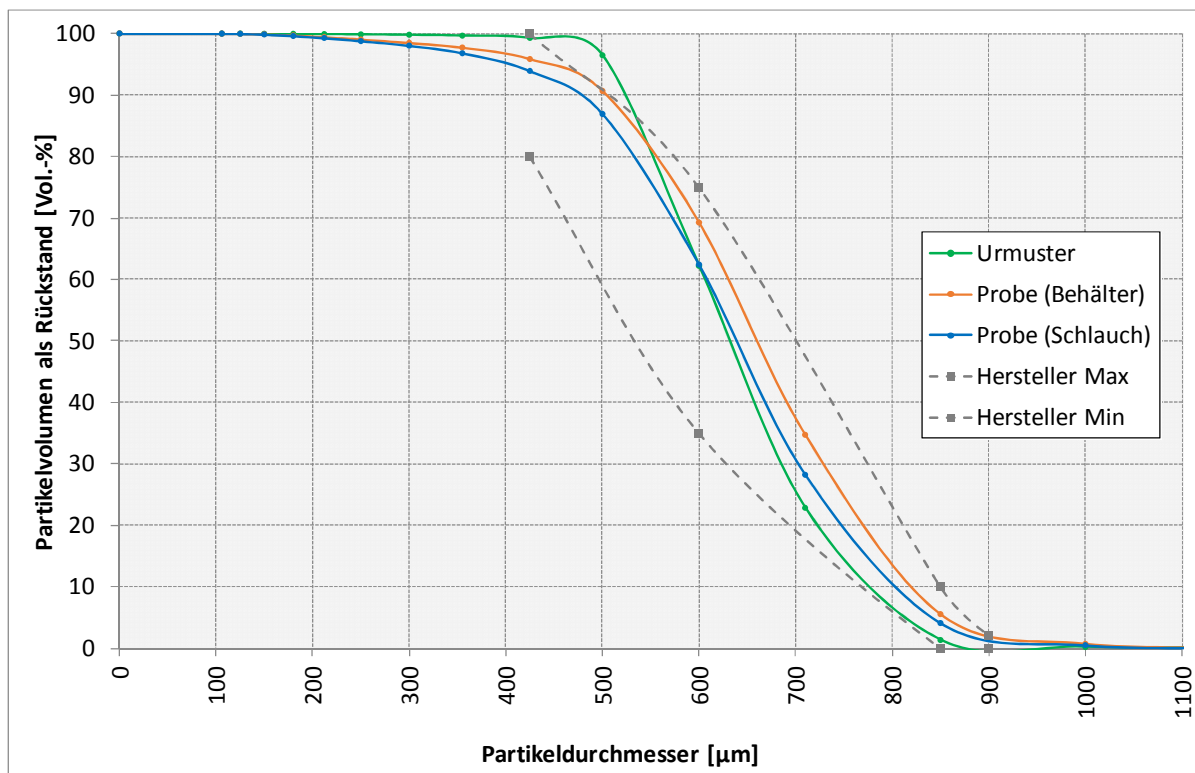


Abbildung B-38: Kumulierte Rückstände je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Proben (rot, blau) für Probenahme 10

In Abbildung B-38 sind die kumulierten Rückstände der Proben und des Urmusters dem Toleranzbereich gemäß Produktspezifikation gegenübergestellt. Die Kurven verlaufen bei den hier relevanten Durchmessern 425, 600, 850 und 900 μm innerhalb des Toleranzbereichs.

Die Beschreibung der Partikelgrößenverteilung gemäß Produktspezifikation entspricht nicht EN 1423 (Vergleich Probenahme 02 und 08).

Probenahme 11

Gemäß BAST-Prüfzeugnis wurde für das applizierte Markierungssystem bei der Eignungsprüfung ein Nachstreumittelgemisch aus Reflexkörpern sowie Minigrain (Cristobalit) und Korund als Griffigkeitsmittel im Verhältnis 70 : 30 verwendet. Die im BAST-Prüfzeugnis aufgeführte Produktbezeichnung ist mit der Kennzeichnung der Nachstreumittelgebände identisch.

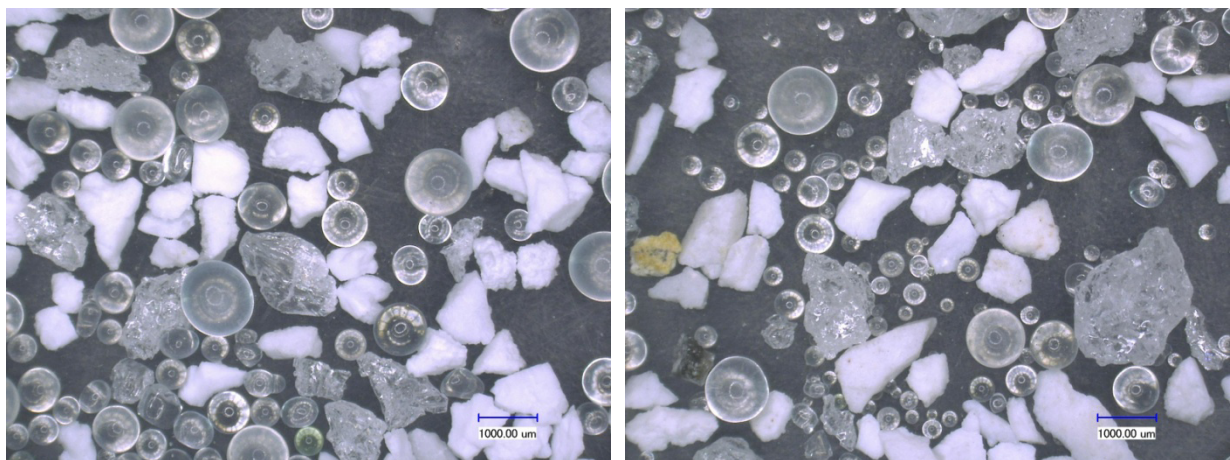


Abbildung B-39: Urmuster (links) und Probe (rechts) des Nachstreumittels bei 30facher Vergrößerung für Probenahme 11

Die Mikroskop-Aufnahmen in Abbildung 4-B-39 zeigen, dass sowohl im Urmuster als auch der Probe sowohl transparente, scharfkantige (vermutlich Korund) als auch intransparente, weiße (vermutlich Minigrain) Griffigkeitsmittel enthalten sind. Die Aufnahmen deuten nicht auf stofflich vom Urmuster abweichende Komponenten hin.

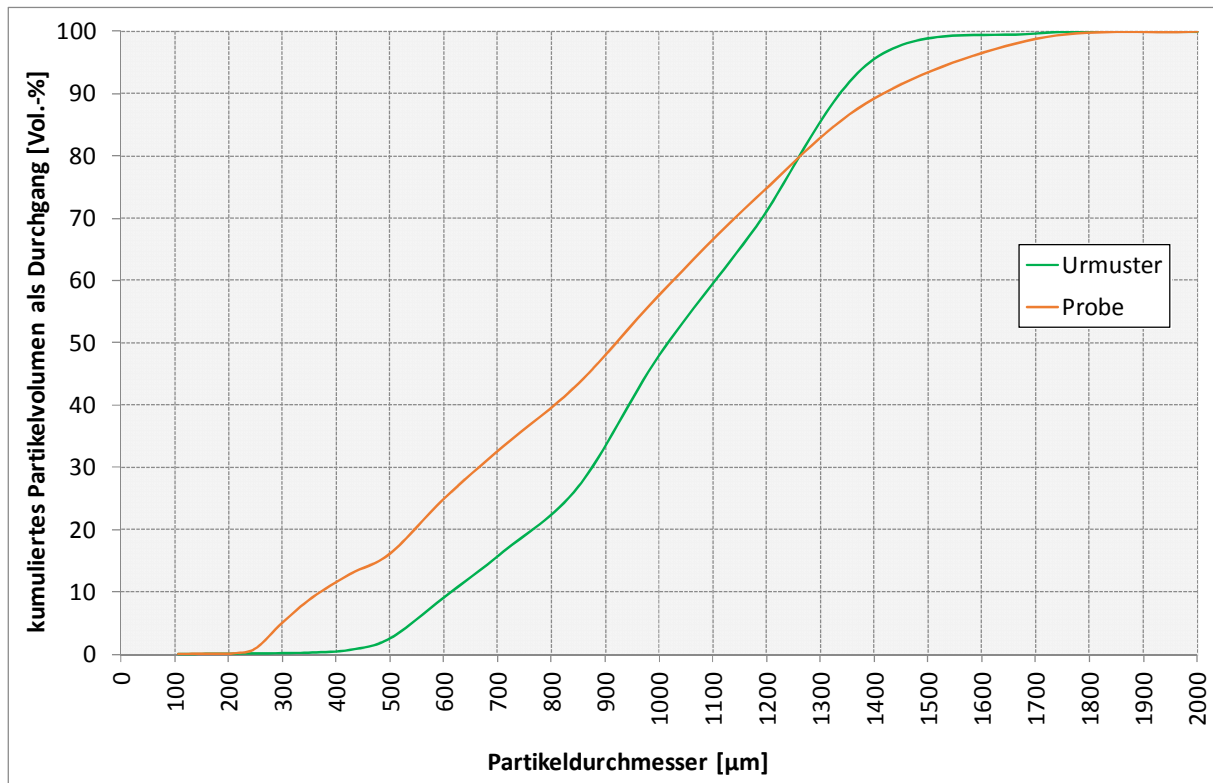


Abbildung B-40: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot) als Durchgang für Probenahme 11

In Abbildung B-40 ist das kumulierte Partikelvolumen des Gemisches aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln für das Urmuster sowie die Probe als Durchgang dargestellt. Abbildung B-41 zeigt die je Partikeldurchmesser ermittelten prozentualen Rückstände für die Probe und das Urmuster. Zudem sind die oberen und unteren Grenzen des Toleranzbereichs gemäß TP M dargestellt.

Auf eine Unterscheidung zwischen Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln musste aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel verzichtet werden. Da die Produktspezifikation zum Nachstreumittel nur für die Reflexkörper gilt, konnte kein Vergleich mit den Herstellerangaben durchgeführt werden.

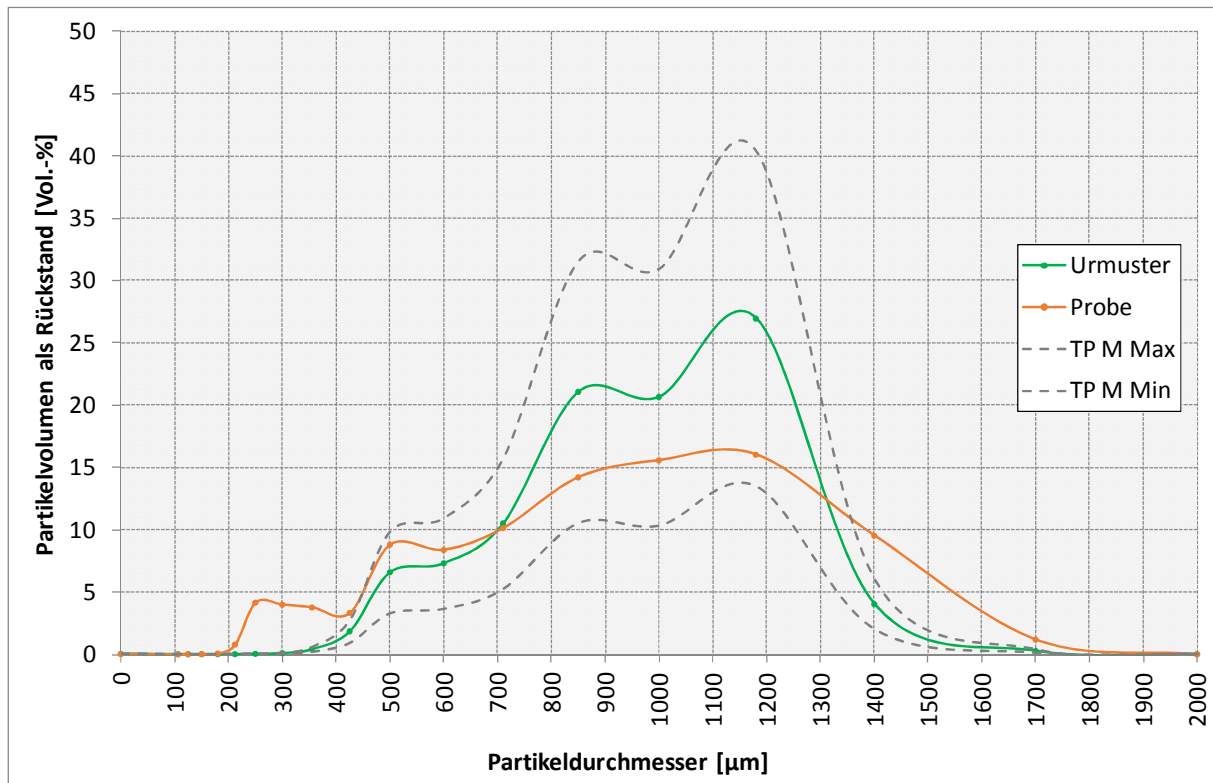


Abbildung B-41: Rückstand je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 11

Die in Abbildung B-41 dargestellten Kurven lassen auf unterschiedliche Ausprägungen der Partikelverteilungen schließen. Die Anteile der Reflexkörper mit Durchmessern von 850 µm bis 1400 µm sind beim Urmuster deutlich höher als der Probe. Bei Durchmessern ≤ 710 µm und > 1400 µm ist dies umgekehrt. Das Gemisch der Probe enthält offenbar auch eine weitere Körnung im Bereich 200-400 µm, die im Urmuster nicht enthalten ist.

In der Produktspezifikation sind die Siebe 212, 300, 500, 850, 1000, 1400 und 1700 µ aufgeführt. Abweichungen vom Toleranzbereich gemäß den TP M treten bei den Sieben 212, 300, 1400 und 1700 µm auf.

Die Einhaltung des Mindestrückstands von 5 % gemäß den TP M konnte aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel nicht überprüft werden.

Probenahme 12

Laut BAST-Prüfzeugnis ist für das applizierte Markierungssystem ein Nachstreumittelgemisch bestehend aus Reflexkörpern sowie Minigrain (Cristobalit) und Korund als Griffigkeitsmittel im Verhältnis 3 : 1 einzusetzen. Die Kennzeichnung des Nachstreumittels laut Gebinde ist mit dem BAST-Prüfzeugnis identisch.

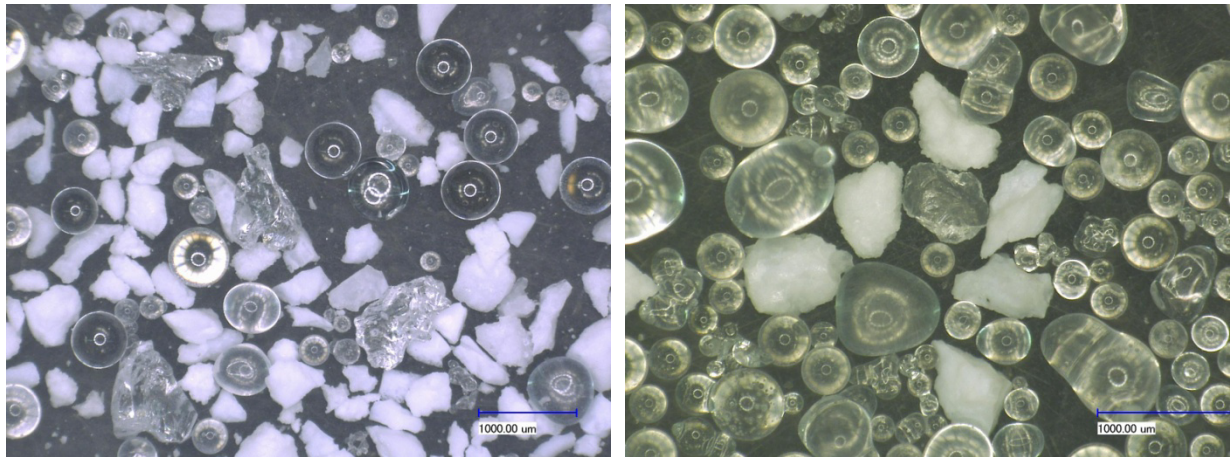


Abbildung B-42: Nachstreumittel Urmuster 50fach (links) und Probe 100fache Vergrößerung (rechts) für Probenahme 12

Die visuelle Untersuchung mit dem Digitalmikroskop ergab, dass sowohl im Urmuster als auch der Probe übereinstimmend mit dem BAST-Prüfzeugnis neben den Reflexkörpern sowohl intransparente, weiße Griffigkeitsmittel (vermutlich Minigrain/ Cristobalit) als auch transparente, scharfkantige Griffigkeitsmittel (vermutlich Korund) enthalten sind (s. Abb. B-42). Die visuelle Untersuchung deutet nicht auf stoffliche Abweichungen zwischen dem Urmuster und der Probe hin.

In den Abbildungen B-43 und B-44 sind für das Gemisch aus Griffigkeitsmitteln und Reflexkörpern die ermittelten Durchgänge und Rückstände für das Urmuster und die Probe dargestellt. Aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel musste auf eine Unterscheidung zwischen Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln verzichtet werden. Auch ist ein Vergleich mit dem Toleranzbereich gemäß Produktspezifikation nicht möglich, da diese nur Daten zu den Reflexkörpern beinhaltet.

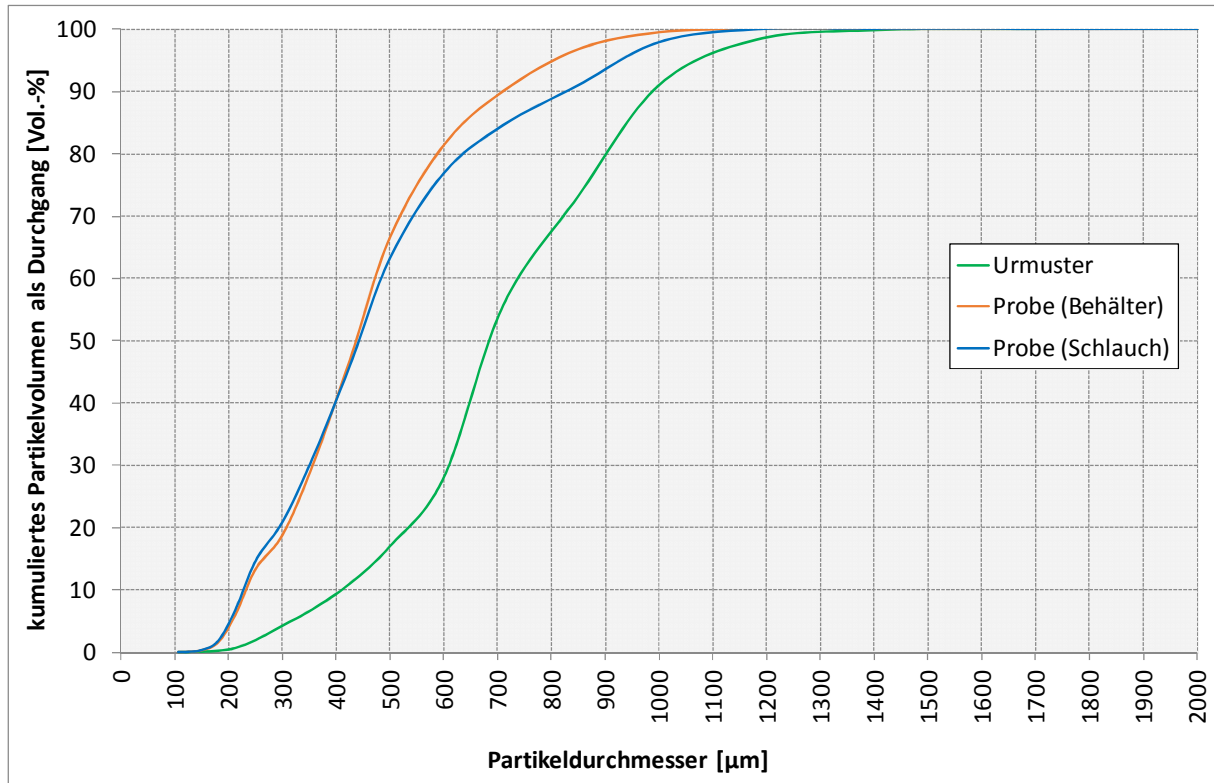


Abbildung B-43: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot) als Durchgang für Probenahme 12

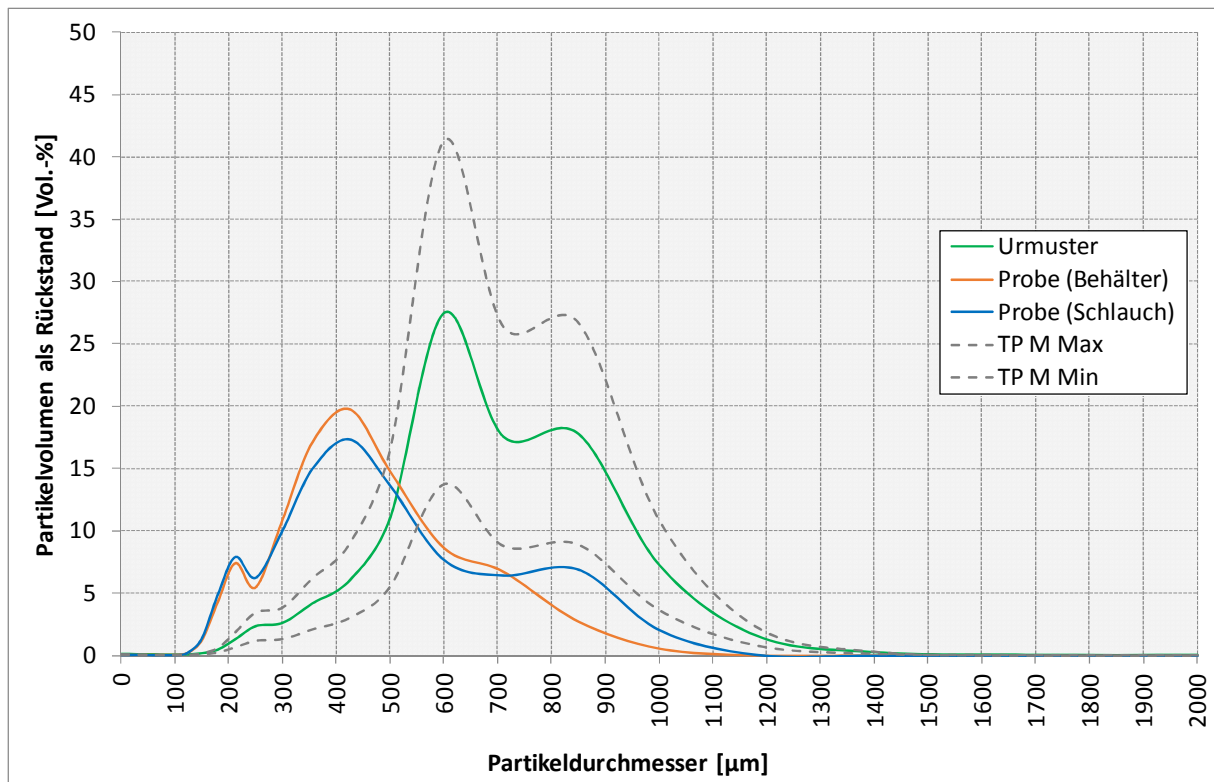


Abbildung B-44: Rückstand je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Proben (rot und blau) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 12

Die Kurven der Probe und des Urmusters weichen maßgeblich voneinander ab. Die ermittelten Kurven für die Durchgänge und Rückstände zeigen klar, dass das Urmuster über maßgeblich größere Anteile an größeren Partikeln verfügte als die vor Ort entnommene Probe. So ist beispielsweise der Anteil an Partikeln mit Durchmessern im Bereich ab ca. 500 µm beim Urmuster signifikant höher als bei der Probe. Offenbar ist bei der Probe eine weitere Fraktion im Bereich kleinerer Partikeldurchmesser (bei 200 µm) dem Gemisch zugefügt worden, die im Urmuster nicht vorhanden ist.

Die Kurven der Probe (Schlauch und Behälter) liegen entsprechend mehrfach außerhalb des zulässigen Toleranzbereichs nach den TP M. Von den in der Produktspezifikation genannten Sieben 300, 500, 850, 1000 und 1400 µm weichen die bei beiden Proben ermittelten Rückstände bei den Sieben 300, 850, 1000 und 1400 µm vom Toleranzbereich nach den TP M ab.

Die Einhaltung des Mindestrückstands von 5 % gemäß den TP M konnte aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel nicht überprüft werden.

Die Proben aus dem Schlauch und dem Vorratsbehälter der Markiermaschine weisen, insbesondere bei Partikeldurchmessern > 700 µm, geringfügig abweichende Verteilungen auf.

Probenahme 14

Laut BAST-Prüfzeugnis wurde ein Nachstreumittelgemisch aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln im Verhältnis 3 : 1 bei der Eignungsprüfung eingesetzt. Die Inhaltsstoffe des Griffigkeitsmittels sind im Prüfzeugnis nicht näher spezifiziert. Die im BAST-Prüfzeugnis aufgeführte Produktbezeichnung stimmt mit der Kennzeichnung der Nachstreumittel-Gebinde überein.

Eine Rückstellprobe des Urmusters lag aufgrund der Eignungsprüfung vor 2008 nicht vor. Da auch zu einem späteren Zeitpunkt das Nachstreumittel mit der o. g. Bezeichnung nicht mehr bei der Eignungsprüfung verwendet wurde, muss auf eine Vergleichende Darstellung mit dem Urmuster verzichtet werden. Die Einhaltung des Toleranzbereichs für die Partikelgrößenverteilung gemäß den TP M können folglich nicht bewertet werden.

Die Einhaltung des Mindestrückstands von 5 % gemäß den TP M konnte aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel nicht überprüft werden.

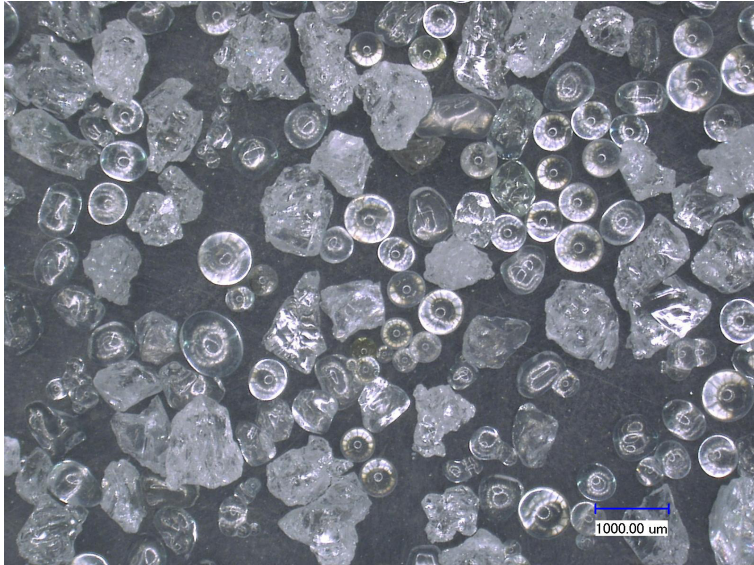


Abbildung B-45: Mikroskopaufnahme der Probe mit 30facher Vergrößerung für Probenahme 14

Die in Abbildung B-45 dargestellte Mikroskopaufnahme mit 30facher Vergrößerung zeigt, dass neben den Reflexkörpern transparente Griffigkeitsmittel im Gemisch enthalten sind.

Aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel war auf eine Unterscheidung zwischen Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln nicht möglich. In den Abbildungen B-46 und B-47 sind die Verteilungen als kumulierter Durchgang und als Rückstand dargestellt.

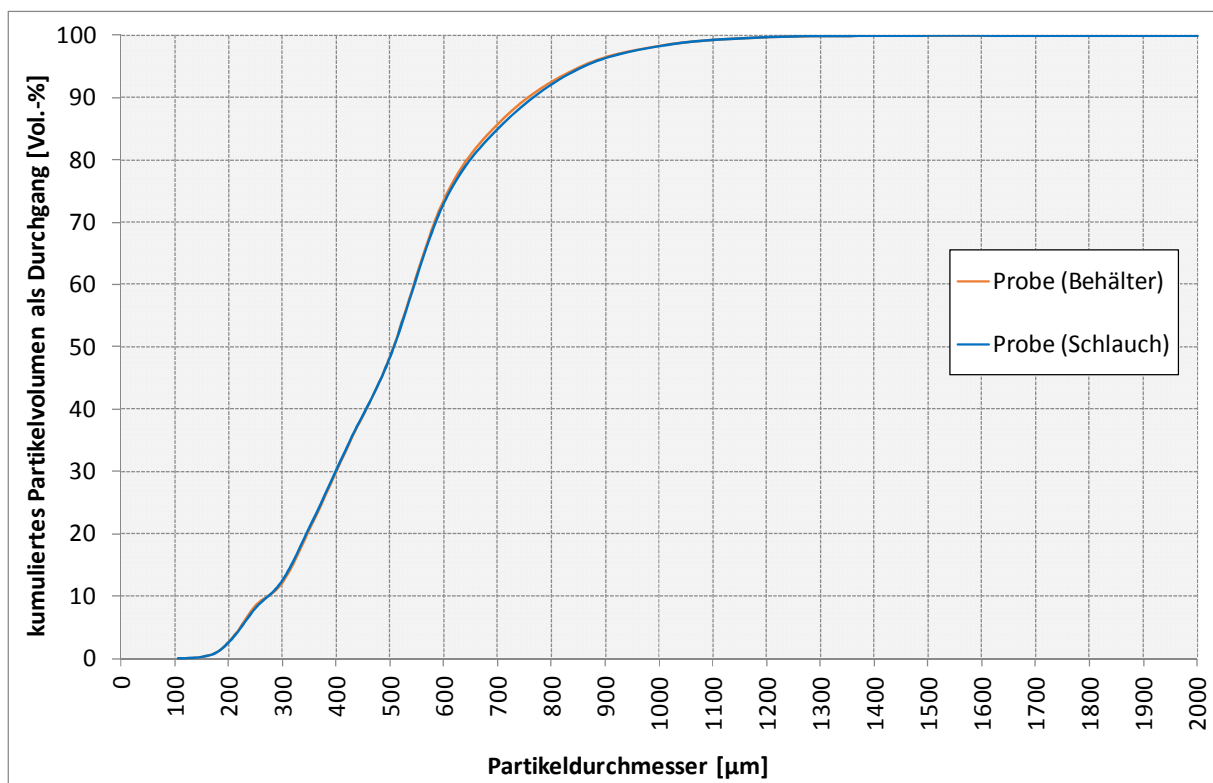


Abbildung B-46: Kumuliertes Partikelvolumen der Proben aus dem Schlauch und dem Vorratsbehälter der Markiermaschine als Durchgang für Probenahme 14

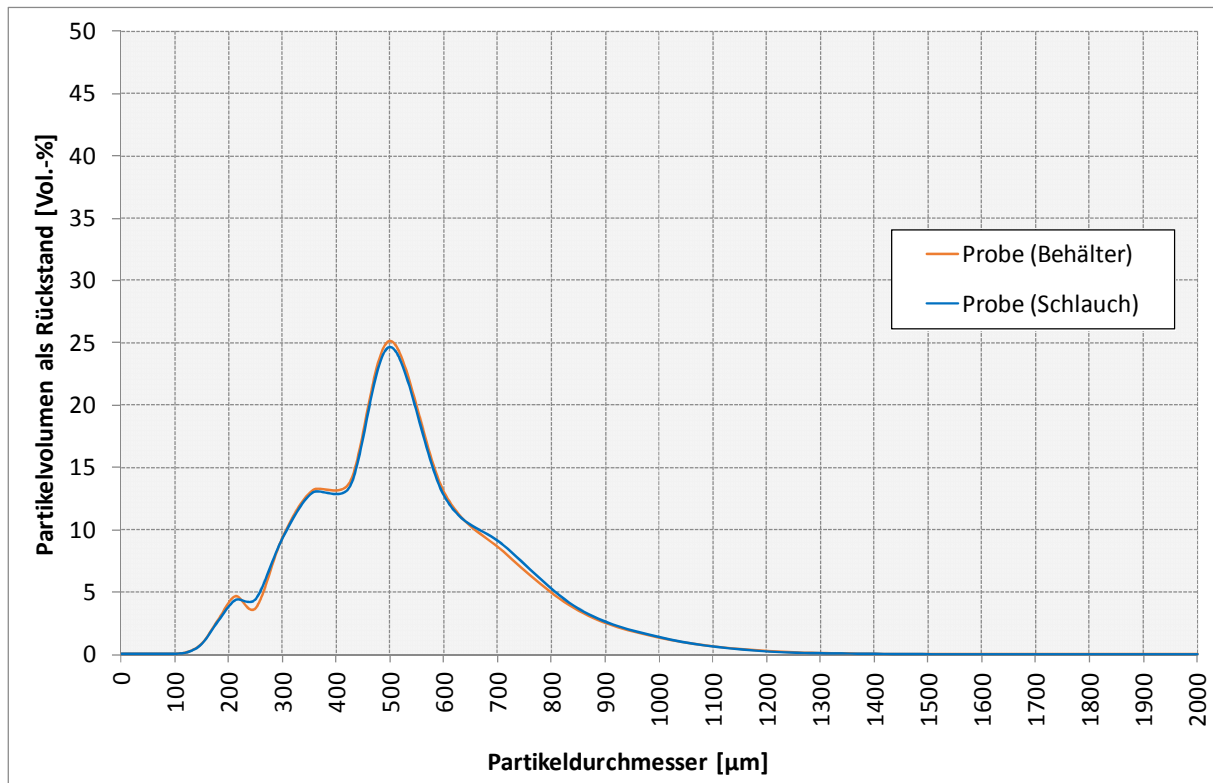


Abbildung B-47: Rückstand der Proben aus dem Schlauch und dem Vorratsbehälter der Markiermaschine in Abhängigkeit des Durchmessers für Probenahme 14

Aufgrund fehlender Bezugspunkte kann lediglich festgehalten werden, dass es sich in weitgehender Übereinstimmung mit der in der Bezeichnung des Nachstreumittels genannten Siebgrößen (200 bis 800 μm) bei der Probe um ein Gemisch mit Partikeldurchmessern von ca. 200 bis ca. 900 μm handelt.

Probenahme 15

Gemäß BAST-Prüfzeugnis ist für das vor Ort applizierte Markierungssystem ein aus Reflexkörpern und Griffigkeitsmitteln Minigrain (Cristobalit) und Korund (Verhältnis Reflexkörper zu Griffigkeitsmittel 70 : 30) bestehendes Nachstreumittelgemisch einzusetzen. Die Bezeichnung auf dem Gebinde stimmt mit der Angabe im BAST-Prüfzeugnis überein.

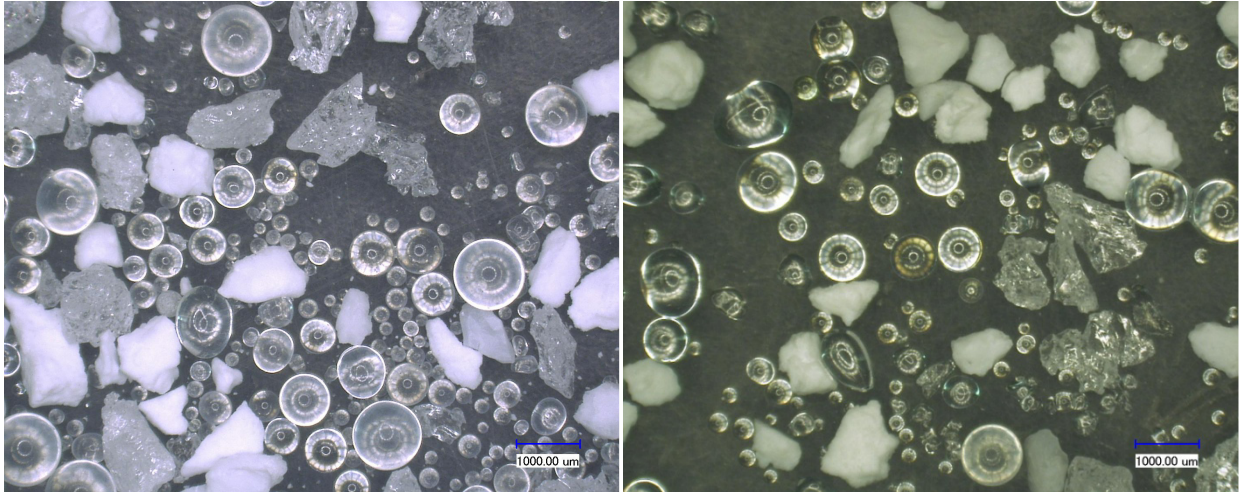


Abbildung B-48: Mikroskopische Aufnahme des Urmusters (links) und der Probe (rechts) für Probenahme 15 (30fache Vergrößerung)

In Übereinstimmung mit dem Prüfzeugnis sind in der Probe und dem Urmuster neben den Reflexkörpern sowohl transparente, scharfkantige Griffigkeitsmittel (vermutlich Korund) als auch intransparente, weiße Griffigkeitsmittel (vermutlich Minigrain/ Cristobalit) enthalten. Aus der Untersuchung mit dem Mikroskop ergaben sich keine offenkundigen Hinweise auf stoffliche Abweichungen (s. Abb. B-48).

Die folgenden Abbildungen zeigen die ermittelten Durchgänge (Abb. B-49) und die Rückstände (Abb. B-50) der Nachstreumittelgemische.

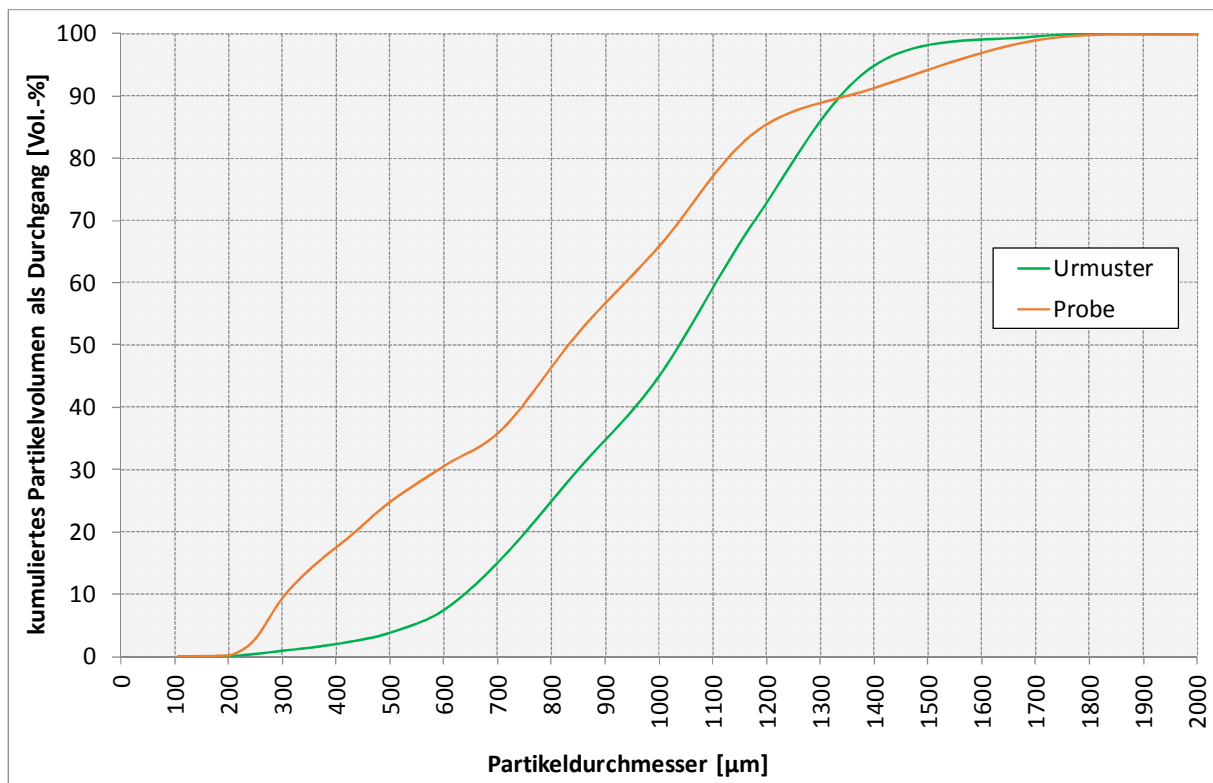


Abbildung B-49: Kumuliertes Partikelvolumen des Urmusters (grün) und der Probe (rot) als Durchgang für Probenahme 15

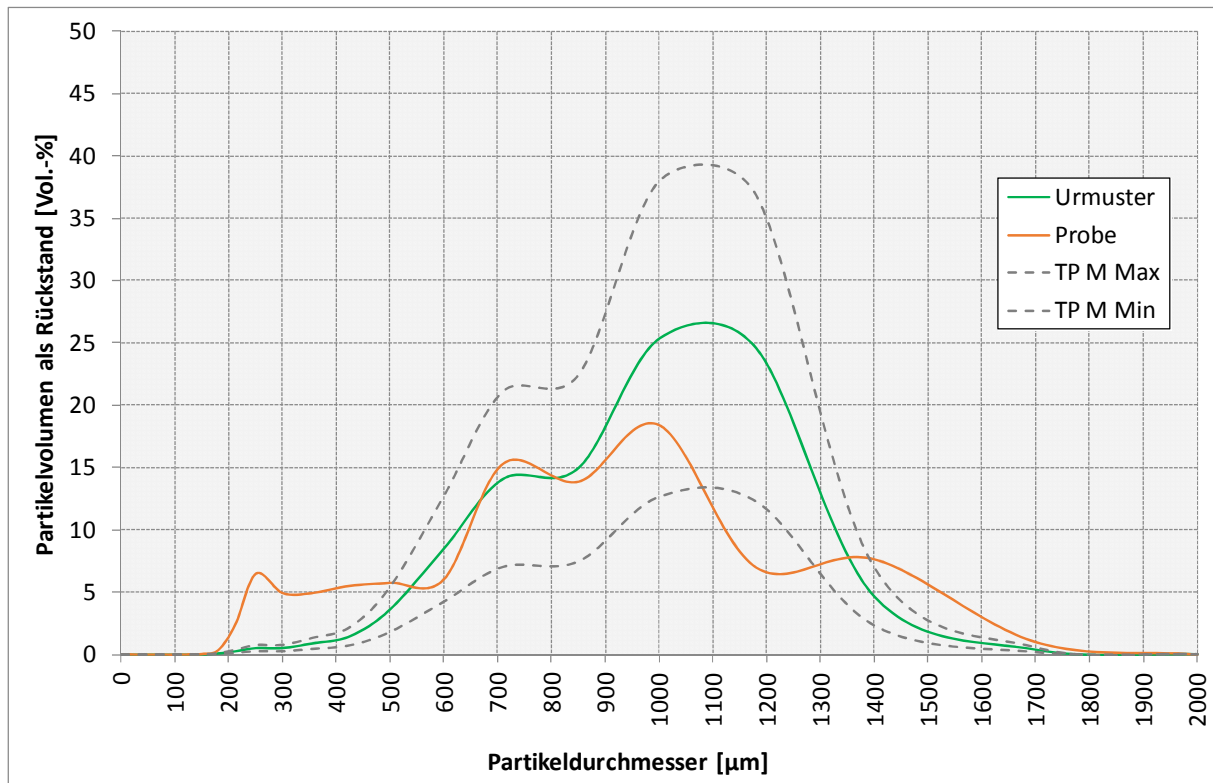


Abbildung B-50: Rückstand je Partikeldurchmesser des Urmusters (grün) und der Probe (rot) sowie der Toleranzbereich nach TP M für Probenahme 15

Die Diagramme zeigen, dass die Kurven signifikant voneinander abweichen mit Differenzen von teilweise mehr als 20 Prozentpunkten bezogen auf die kumulierten Durchgänge und mehr 15 Prozentpunkte bezogen auf die Rückstände je Sieb. Bei den Durchmessern von 850 bis 1400 µm weist das Urmuster deutlich höhere Anteile bei den Rückständen auf als das Urmuster, wogegen die Probe wiederum höhere Anteile an Rückständen bei Partikeln mit kleineren Durchmessern (ca. < 500 µm) und \geq ca. 1400 µm aufweist. Offenbar ist eine weitere Fraktion mit kleinen Partikeln (Durchmesser etwa 200 µm) bei der Probe enthalten, die das Urmuster nicht enthält.

Die Kurve der Probe verläuft im Bereich ca. \geq 1400 µm und ca. \leq 500 µm außerhalb des Toleranzbereichs nach TP M. Von den in der Produktbezeichnung aufgeführten Sieb mit Öffnungsnennweiten 212, 300, 500, 850, 1000, 1400 und 1700 µm wurden bei den Öffnungsweiten 212, 300, 500, 1400 und 1700 µm Abweichungen vom Toleranzbereich gemäß den TP M festgestellt.

Die Einhaltung des Mindestrückstands von 5 % gemäß den TP M konnte aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel nicht überprüft werden.

Ein Vergleich zwischen den Herstellerangaben für das o. g. Produkt und der Probe ist nicht möglich, da sich die Herstellerangaben auf die Reflexkörper beziehen und die Anteile an Reflexkörpern aufgrund der transparenten Griffigkeitsmittel nicht bestimmt werden konnten.